Aus der Orthopädischen Universitätsklinik
König-Ludwig-Haus Würzburg
Direktor: Professor Dr.med. A. Rütt

DIE KONTAMINATION VON OPERATIONSSÄLEN AUF DEM LUFTWEGE UND IHRE BEEINFLUSSUNG DURCH EINE LAMINARE VERDRÄNGUNGSSTRÖMUNG, VERGLICHEN MIT DER WIRKSAMKEIT EINER HERKÖMMLICHEN KLIMAANLAGE

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Paul Wenk
aus Nürnberg

Würzburg, den 16. Juni 1981

Aus der Orthopädischen Universitätsklinik
König-Ludwig-Haus Würzburg
Direktor: Professor Dr.med. A. Rütt

DIE KONTAMINATION VON OPERATIONSSÄLEN AUF DEM LUFTWEGE UND IHRE BEEINFLUSSUNG DURCH EINE LAMINARE VERDRÄNGUNGSSTRÖMUNG, VERGLICHEN MIT DER WIRKSAMKEIT EINER HERKÖMMLICHEN KLIMAANLAGE

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Paul Wenk
aus Nürnberg

Würzburg, den 16. Juni 1981

Referent:	Professor Dr.med. A. Rütt
Korreferent:	Professor Dr.phil. W. Döll
Dekan:	Professor Dr.med. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juli 1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

Meiner Frau Ingeborg

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543519_0063

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
1.1	Wundinfektionen auf dem Luftwege - historischer Hintergrund der Entwicklung moderner Klimaanlagen	1
1.2	Besondere Bedeutung für die Orthopädie	2
1.3	Meinungen anderer Autoren über die Wirksamkeit des Laminar-Air-Flow	3
1.4	Problemstellung	4
2.	QUELLEN DER AEROGENEN WUNDKONTAMINATION	6
2.1	Primärkeime	6
2.2	Sekundärkeime	7
2.3	Tertiärkeime	7
3.	MÖGLICHKEITEN ZUR BEKÄMPFUNG DER LUFTKONTAMINATION	8
3.1	Organisatorische Maßnahmen	8
3.2	Hygienische Maßnahmen	9
3.3	Technische Maßnahmen	10
4.	KLIMAANLAGEN	11
4.1	Anlagen mit Strahllüftung	11
4.2	Anlagen nach DIN 1946/4	12
4.2.1	DIN-Norm 1946/4 von 1964	12
4.2.2	Richtlinien für Operationssäle nach dieser Norm	13
4.2.3	OP nach DIN-Norm 1946/4 - räumliche und technische Daten	17
4.3	Klimaanlagen nach dem Prinzip der Laminarströmung	17
4.4	Theoretisch optimale OP-Box nach LITONSKI	22
4.5	St. Galler Sterilboxe	23
4.6	OP-Räume mit Keimstop-System (Membranen)	24

Seite

5.	EIGENE VERSUCHE	26
5.1	Der Laminar-Air-Flow-OP in Würzburg	27
5.2	Nachweisverfahren zur Bestimmung der Luftkeimzahl	27
5.3	Beschreibung der einzelnen Verfahren	28
5.3.1	Sedimentationsplatte	28
5.3.2	Aufprallverfahren	29
5.3.2.1	Impingementverfahren	29
5.3.2.2	Impaction-Verfahren	31
5.3.2.3	Zentrifugation	32
5.3.3	Filtration	32
5.4	Versuche mit Sedimentationsplatten	34
5.4.1	Versuchsbeschreibung	34
5.4.2	Versuchsergebnisse	36
5.4.2.1	Ergebnis der Messungen in den leeren OP's	36
5.4.2.2	Messungen während vergleichbarer Operationen	36
5.4.3	Wertung der Ergebnisse	38
5.5	Versuche mit modifizierter Membranfiltermethode	39
5.5.1	Abstimmung des Versuchsprogramms	41
5.5.2	Beschreibung der Versuche mit Membranfiltermethode	43
5.5.3	Versuchsergebnisse	47
5.5.3.1	Keimzahlbestimmung	47
5.5.3.2	Differenzierung der Mikroorganismen	54
5.5.3.3	Beurteilung der nachgewiesenen Keimarten im Hinblick auf die Entstehung von Wundinfektionen	56
6.	VERGLEICH MEINER ERGEBNISSE MIT DENEN ANDERER UNTERSUCHER	57
6.1	Vergleich mit Untersuchungen unter ähnlichen Versuchsbedingungen	57
6.2	Vergleich mit Ergebnissen weiterer Autoren	59
6.3	Stellungnahme dieser und anderer Autoren zum Laminar-Air-Flow bei seiner Anwendung im OP	60
7.	ZUSAMMENFASSUNG	67
LITERATURVERZEICHNIS		I - VI

1. EINLEITUNG

1.1 Wundinfektionen auf dem Luftwege - historischer Hintergrund der Entwicklung moderner Klimaanlagen

Es ist seit langem bekannt, daß Wundinfektionen, die nach Operationen auftreten, auch auf aerogenem Wege entstehen können. Schon Th. BILLROTH forderte: "Reinlichkeit bis zur Ausschweifung", aufbauend auf den Erkenntnissen von PASTEUR und KOCH (32).
1867 entdeckte LISTER, daß er durch Verneblung von Karbolspray im Operationssaal die Zahl der postoperativen Komplikationen entscheidend senken konnte.
Da die Kontaktinfektion aber zahlenmäßig weit überwog und vor allem nach der Entdeckung der Antibiotika mit der darauffolgenden Euphorie, geriet diese Erkenntnis jedoch bald wieder in Vergessenheit (W. GIERHAKE: "Wir vertrauen auf Gott und Penicillin") (22).
In den 30er und 60er Jahren kam es soweit, daß mehr postoperative Infektkomplikationen auftraten als vor dem 2. Weltkrieg. Dies lag auch daran, daß das Krankengut jetzt mehr Patienten mit schlechter Abwehrlage und in extremen Altersstufen umfaßte.
Nachdem man die Kontaktinfektionen durch intensive Desinfektions- und Sterilisationsmaßnahmen soweit eingedämmt hatte, daß der Anteil von 10 %, den die aerogenen Infekte ausmachen, für aseptische Operationen bedeutungsvoll ins Gewicht fiel, besann man sich wieder auf Methoden zu deren Bekämpfung.

1961 begann der Engländer CHARNLEY mit der Entwicklung des "Greenhouse", eines Operationssaales, in dem durch Steigerung der Luftaustauschrate eine gerichtete Strömung erzeugt wurde, die zur Verminderung der Keimzahl in Wundnähe führte. Dies konnte er auch statistisch belegen: Die Zahl der Infektionen nach Totalendoprothesen sank von 8,9 auf 0,6 % (6).

Diesen Status konnte er auch dann halten, als er wegen Rückstauturbulenzen der vertikalen Strömung am Boden die Luftaustauschrate von 500 auf 300/h senken mußte.
In diesem Operationssaal, der nun einem "Clean Room" nach DIN-Industrienorm entsprach, erfolgte das Einblasen der Luft über Filter am oberen Ende der Seitenwand, das Entweichen durch Überdruck passiv am Boden.
Der Amerikaner WHITCOMB, der 1966 einen entsprechenden Operationssaal in Albuquerque installierte, verwendete Filter in der Decke, so daß ein gleichmäßiger Zustrom gewährleistet war. Den Rückstau am Boden milderte er dadurch ab, daß er als Seitenwände Plastikwände benutzte, was den Abfluß erleichterte (37). Im Gegensatz zu CHARNLEY verzichtete er dafür auf Helme und Atemluftabsaugung. Sein einfacheres Verfahren wurde nicht zuletzt deshalb als erstes nachvollzogen.
BÖHLER in Linz 1969, WEBER in St. Gallen 1970 und MÜLLER in Bern 1971 bauten die ersten Vertikal-Laminar-Flow-Operationssäle in Europa ein. Der erste Horizontal-LAF-Operationssaal entstand 1971 in Denver, der erste europäische 1972 in Göttingen (PEIPER). Der St. Gallener Operationssaal bildet insofern eine Ausnahme, als er die Technik CHARNLEYs und WHITCOMBs verquickt und eine Weiterführung unter Ausschaltung von Nachteilen und Einbringung neuer Ideen darstellen sollte (35). Auf die Einzelheiten dieser Operations-Box werde ich später noch näher eingehen.

1.2 Besondere Bedeutung für die Orthopädie

Es ist kein Zufall, daß sich ein großer Teil derjenigen, die sich mit Möglichkeiten zur Reduzierung der Luftkeimzahl beschäftigen, aus Orthopäden zusammensetzt. Dies liegt vor allem daran, daß die Infektionsgefährdung einer Operationswunde nicht allein durch die Keimkonzentration bestimmt ist, sondern mehr noch von der Disposition des Patienten abhängt (Abwehrschwäche von älteren Leuten und Kleinkindern bei Organtransplantationen wegen Immunsuppression) und von der Art des Operationsgebietes:

Knochen sind wesentlich stärker gefährdet als die gut durchbluteten Weichteile. Noch größer ist die Gefahr, die aus der Implantation von künstlichem Material wie bei Osteosynthesen, Gelenkersatz oder Gefäßprothesen erwächst. Daraus ergibt sich die besondere Notwendigkeit zur Reduzierung der Luftkeimzahl bei orthopädischen Operationen, denn schon eine relativ geringe Zahl von Erregern kann in diesen Wunden zu schweren, langwierigen Infekten führen.

1.3 Meinungen anderer Autoren über die Wirksamkeit des Laminar-Air-Flow

Nach jahrelangem erfolgreichen Einsatz gerade in orthopädischen Operationssälen geriet die moderne Technik des Laminar-Air-Flow plötzlich wieder unter zunehmenden Beschuß von Kritikern, die an ihrer Effektivität zweifelten.
In Nordrhein-Westfalen ging dies 1976 sogar so weit, daß das Arbeitsministerium, gestützt auf die Empfehlung eines mit der Untersuchung beauftragten Hygieneinstituts, den Einbau weiterer LAF-Anlagen in seinem Zuständigkeitsbereich nicht mehr befürwortete und aus diesem Grunde auch nicht mehr finanziell fördern wollte (Prof. LINZENMEIER, Essen). Die Untersucher beriefen sich dabei auf Arbeiten von LAUFMANN und MADDOX, die Angaben von 5 Orthopäden statistisch ausgewertet hatten. Das Ergebnis genügte ihnen zu dem Schluß, daß LAF-Anlagen gegenüber konventionellen mit 20-fachem Luftwechsel keine weitere Keimreduzierung bewirken bzw. daß diese bereits eine optimal niedrige Keimkonzentration gewährleisten.
Nach Meinung vieler anderer Autoren trifft dies höchstens dann zu, wenn im Operationssaal Ruhe herrscht. Sobald aber der Operations-Betrieb beginnt, kann das konventionelle System die niedrige Konzentration nicht annähernd aufrechterhalten, sie steigt deutlich an. Im Laminar-Flow bleibt sie dagegen weiterhin auf ihrem Anfangsniveau und steigt auch im weiteren Verlauf des Operations-Tages nur gering an. Die gleichen Untersucher stellten auch fest, daß dadurch die Infektionsrate bei Knochen- und Gelenkoperationen in durch kon-

ventionelle Belüftung nicht erreichbarer Weise gesenkt worden sei.
Da besonders solche Operationen in dafür bestmöglich ausgestatteten Operationssälen durchgeführt werden sollten, darf eine derart schwerwiegende Entscheidung wie ein genereller Einbaustop meiner Meinung nach erst nach einem sorgfältigen Vergleich unter Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten getroffen werden.

1.4 Problemstellung

Entsprechend dem von Prof. Dr. RÜTT gestellten Thema befasse ich mich im folgenden mit der Kontamination des Operationssaales und speziell des Wundfeldes auf dem Luftwege, sowie mit Möglichkeiten, die Luftkeimzahl, besonders durch spezielle Klimaanlagen (Laminar-Air-Flow) zu verringern.
Die entscheidenden Untersuchungen stellte ich dabei im Rahmen einer Studie des Arbeitskreises für LAF und Krankenhaushygiene an. Unter Leitung von Prof. Dr. THOMAS machte es sich dieser Arbeitskreis zur Aufgabe, in den Operationssälen von mehr als 40 orthopädischen Kliniken unter standardisierten Bedingungen Keimzahlmessungen durchzuführen. Damit sollte die Wirksamkeit der verschiedenen eingebauten Klimaanlagen geprüft und verglichen werden.

Bevor ich die von mir an der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus der Universität Würzburg durchgeführten Versuche darlege, möchte ich zunächst allgemein auf die Quellen eingehen, die zur Entstehung einer Wundinfektion führen können:

a) Kontaktinfektion
b) Umgebungsluft
c) Respirationstrakt der Operateure (sekundäre Keime)
d) Eigenkeime des Patienten (primäre Keime)

Dem Thema entsprechend werde ich mich in den weiteren Ausführungen auf die Gründe der aerogenen Infektion konzentrieren.

Dabei darf man jedoch nicht übersehen, daß die Kontaktinfektion für mindestens 80 % aller postoperativen Wundheilungsstörungen verantwortlich zu machen ist. Nur wenn diese mit spezifischen Maßnahmen weiter eingedämmt wird, ist es überhaupt möglich, mit der zusätzlichen Bekämpfung der aerogenen Kontamination eine signifikante Senkung der Infektionsrate zu erreichen.

2. QUELLEN DER AEROGENEN WUNDKONTAMINATION

2.1 Primärkeime

Zur Kontamination der Luft im Operationssaal mit Erregern kommt es folgendermaßen:
Nach KANZ (16) muß man zunächst unterscheiden zwischen den auf dem Luftwege, also direkt eingeführten "Primärkeimen" und den auf dem Kontaktwege, also indirekt eingeführten "Sekundärkeimen".
Der Anteil der Primärkeime setzt sich dabei nach Meinung von LITONSKI (19) aus solchen zusammen, die aus der normalen Außenluft, der Luft von Nebenräumen oder aus einer ungenügend gereinigten Klimaanlage kommen.
Auch WANNER (34) beschreibt, daß bei Klimaanlagen zahlreiche Mängel auftreten können, die zu massiver Keimeinschleppung und damit höherer Keimkonzentration als in unbelüfteten Räumen führen. Seiner Meinung nach sind dies in der Hauptsache folgende Mängel:

1) Verunreinigung der Zuluftkanäle
2) Unzureichende Abdichtung der Zuluftkanäle und -filter
3) Unterdruck im Raum

JANSSEN bemerkt dazu folgendes (14):

- Außenluft ist relativ keimarm, qualitativ harmloser und wird erst durch Bewegung und Verunreinigung kontaminiert
- Im Krankenhaus ist die Luftkontamination 4-fach höher als außerhalb
- Im Operationssaal steigt die Keimzahl durch Bewegung von Person und Gerät weiter an
- Richtig filtrierte Luft ist praktisch keimarm bis keimfrei
- 90 % aller klimatisierten Räume sind unbehaglich
- 75 % haben technisch-hygienische Mängel
- 75 % dieser Mängel sind relativ einfach zu beseitigen

Aus alledem ergibt sich für die Kontamination eines Operationssaals auf dem Luftweg folgender Schluß:
Bei regelmäßiger Wartung der Klimaanlage ist der ohnehin schon geringere Anteil der Primärkeime weitgehend zu vernachlässigen.

2.2 Sekundärkeime

Wesentlich wichtiger für die aktuelle Keimkonzentration in der Luft eines Operationssaals sind die sekundären, durch Menschen, Geräte und Versorgungsmedien in diesen eingeschleppten Erreger.
Diese bereits sedimentierten Mikroorganismen werden im Operationssaal durch Bewegungen aufgewirbelt und durch die herrschende, wenn auch geringe Luftströmung im Raum verteilt.

Daraus ergibt sich, daß die Zahl der Sekundärkeime erst während des Operationsbetriebs signifikant ansteigt, wenn sich viele Personen im Raum befinden und rege Aktivität herrscht (LITONSKI (20)).
Zusätzliche Keimquellen im Operationssaal selbst können sich noch ergeben aus infizierten Wunden oder aus Entsorgungsprodukten des Operationsfelds (Abwurf von Tupfern, Instrumenten u.ä.).

2.3 Tertiärkeime

STRAUSS führt noch eine dritte Art an, die sogenannten "Tertiärkeime", die durch Kolben- (Aufzug) oder Schleppströmungen (Flügeltüre) oder aufgrund von Druckgefällen in den Operationssaal eingebracht werden (33).
Um eine Kontamination auf diesem Wege zu verhindern, ist zu fordern, daß Aufzugs- und Abwurfschächte keine direkte Verbindung zum OP haben, daß schnelle Bewegungen von Türen und fahrbaren Geräten vermieden werden und der Druck vom OP nach außen hin abfällt. Letzteres muß allerdings dann umkehrbar sein, wenn es im OP zu einem septischen Zwischenfall kommt.

3. MÖGLICHKEITEN ZUR BEKÄMPFUNG DER LUFTKONTAMINATION

Bevor ich auf die möglichen Methoden eingehe, die es gibt und die angewendet werden, um die Kontamination eines Operationssaals auf dem Luftwege zu verhindern oder zumindest einzuschränken, möchte ich folgendes vorausschicken:

Eine vollkommene Keimfreiheit im Operationssaal ist so lange nicht zu realisieren, als Menschen darin arbeiten. Auch wenn diese Mund- und Kopfschutz (evtl. sogar Helme mit Absaugung) und staubfreie bzw. -arme Kleidung tragen, emittieren sie, wenn auch in geringerem Maße, Partikel, die Keime transportieren können.
Jede Dekontamination des Personals muß demnach unvollständig bleiben, sollte aber gerade wegen obiger Erkenntnisse so sorgfältig wie möglich durchgeführt werden.

Welche Mittel stehen zur Verfügung, um die Luftkeimzahl auf ein Minimum zu reduzieren?
LITONSKI nennt folgende Maßnahmen, die dazu beitragen können, die Kontamination der Luft zu vermindern (20):

1) Organisatorische Maßnahmen
2) Hygienische Maßnahmen
3) Technische Maßnahmen

3.1 Organisatorische Maßnahmen

Dazu gehört die richtige Auswahl bei der Zusammensetzung des Operations-Teams, wobei darauf geachtet werden soll, daß keine latenten Keimträger zugelassen werden.
Diszipliniertes Verhalten des Operations-Teams ist schon während der Vorbereitung, erst recht aber während der Operation selbst besonders wichtig, um die Keimemission in Grenzen zu halten. Deshalb sind alle Beteiligten immer wieder auf folgendes hinzuweisen:

Unnötige Bewegungen von Personen und Gegenständen sind zu vermeiden, damit abgesetzte Partikel nicht wieder aufgewirbelt werden und dann vielleicht in die Wunde sedimentieren. Erst recht gilt dies natürlich für unnötige Bewegungsvorgänge in Wundnähe.
Dementsprechend muß auch die Ver- und Entsorgung mit Betriebsmedien diszipliniert vor sich gehen, da sonst auf diesem Wege unkontrolliert hohe Keimkonzentrationen in den Operationssaal eingeschleppt oder, nicht minder bedeutsam, umgebende Räume kontaminiert werden können. Eine der wichtigsten organisatorischen Maßnahmen ist ohne Zweifel die regelmäßige und sorgfältige Wartung der eingebauten Klimaanlage.
Sind in dieser nämlich einmal Keime vorhanden, verkehrt sich ihre Wirkung ins Gegenteil, indem zusätzlich Erreger in den Raum eingeblasen werden, je nach Anordnung des Systems vielleicht genau in Richtung des Wundfelds.
Da eine ordnungsgemäß eingebaute und gewartete Klimaanlage kaum vom Raum her, gegen die Strömungsrichtung, kontaminiert werden dürfte, treten bei regelmäßiger Kontrolle und Wartung der Filter nur sehr selten derartige Zwischenfälle auf.

3.2 Hygienische Maßnahmen

Zu diesen Maßnahmen ist zu sagen, daß sie allgemein aus den Methoden der Sterilisation und Desinfektion bestehen.
Bezogen auf die Anwendung im Operationssaal, gehören dazu:

- Dekontamination von Geräten und Versorgungsmedien vor Einbringung in den Operationssaal
- Sorgfältige Dekontamination aller Personen, die den Operationssaal betreten, einschließlich des Wechsels der gesamten Bekleidung im Schleusensystem
- Gewissenhafte Flächendesinfektion

Diese Maßnahmen dienen also in erster Linie dazu, die Einschleppung von Keimen auf dem Kontaktwege so weit wie möglich zu begrenzen; d.h. auch die Entstehung von Sekundärkeimen.

Die einzige Möglichkeit, wirklich die vorhandene Keimkonzentration zu senken und nicht nur eine Steigerung derselben zu verhüten, besteht in der Anwendung von technischen Maßnahmen.

3.3 Technische Maßnahmen

Dazu zählen alle Methoden, die zur Abtötung oder Ableitung der im Raum befindlichen Mikroorganismen führen.
Die Abtötung der Luftkeime erreicht man durch Einsatz von UV-Strahlung oder geeigneter chemischer Desinfektionsmittel (Verdampfung von Triäthylenglykol = TAT). Letztere haben dabei den Vorteil, auch während des Operationsbetriebs angewendet werden zu können, während dies bei den Strahlen wegen ihrer schädlichen Wirkung auf Menschen nur in betriebsfreien Stunden (am besten direkt nach Operationsende, wenn die letzte Person den Raum verlassen hat) möglich ist.
Beide haben gemeinsam, daß sie auch an Stellen im Raum wirksam sind, wo es der Klimaanlage nicht mehr gelingt: In Ecken und zwischen Möbelstücken. Sie ergänzen und verstärken also deren Wirkung auf die im Saal vorhandenen Mikroben.
Das Hauptgewicht der technischen Maßnahmen liegt somit auf der Ableitung der Mikroorganismen durch spezielle, auf die Bedürfnisse eines Operationssaales abgestimmte Klimaanlagen.

4. KLIMAANLAGEN

4.1 Anlagen mit Strahllüftung

Bis 1963 wurden allerdings noch Klimaanlagen eingebaut, die von der Konstruktion her nur sehr unzureichend die Aufgabe erfüllen konnten, primäre Luftkeime zu beseitigen oder wenigstens fernzuhalten. Dies liegt daran, daß meist nur Filter der Güteklasse C nach SFI - Bonn (20) eingebaut wurden, welche zu viele Partikel durchlassen. Stabile Strömungsverhältnisse werden nicht erreicht, so daß Zirkulationskreise entstehen, die zum Aufwirbeln sedimentierter Partikel führen können, an die oft die sog. Sekundärkeime gebunden sind (Abb. 1).
Dieses Prinzip der Strahllüftung ist also keinesfalls geeignet, für eine konstante Reinheit der Operationszone zu sorgen.

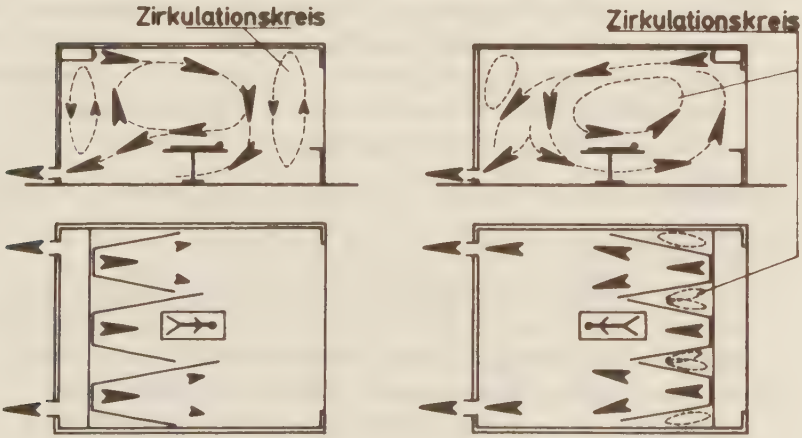


Abb. 1: Strahllüftung

4.2 Anlagen nach DIN 1946/4

4.2.1 DIN-Norm 1946/4 von 1964

Bevor ich auf die seit 1964 eingebauten Anlagen näher eingehe, möchte ich zunächst die Luftsollwerte angeben, die in der DIN-Norm 1946 (Blatt 4) von 1964 für klimatisierte Operationssäle gefordert werden (19):

a) Raumtemperatur
Diese soll, als Mittel aus Lufttemperatur und mittlerer Temperatur aller Umgebungsflächen definiert, zwischen 20 und 25°C liegen, mit einer Abweichung von maximal ± 1,5°C.

b) Die relative Luftfeuchtigkeit soll 65 bis 50 % betragen, mit einer maximalen Abweichung von ± 5 % r.F.

c) Beseitigung von Verunreinigungen
- Um störende Gerüche, Gase oder Dämpfe zu beseitigen, wird ein mindestens 8 - 10facher Luftwechsel für nötig gehalten.
- Zur Beseitigung von Staub- und Schwebstoffen sollen Feinfilter der Güteklasse C (nach SFI - Bonn) eingesetzt werden, in Sonderfällen HOSCH-Filter der Sonderstufe S, die einen Entstaubungsgrad von 99,97 % bei einem Grenzkorn von 0,3 Mikron garantieren, das heißt: Von 100 000 Partikeln der Große 0,3 Mikron dürfen höchstens 30 durchgelassen werden.

d) Demgemäß wird auch eine, allerdings nur relative Höchstgrenze für die Verunreinigung der Luft mit Mikroben festgesetzt:
Das Verhältnis Keimzahl : Partikelzahl (größer als 0,5 Mikron) soll etwa 1 : 50 000 betragen, dem amerikanischen Standard für bioreine Räume entsprechend.
Zu einer festen Höchstgrenze für die Keimzahl pro m^3, wie es sie in den USA, abhängig von der vorgesehenen Operation, schon seit längerem gibt, konnte man sich damals aber nicht durchringen.

e) Für die Luftbewegung gelten folgende Regelungen:

- In Blatt 4 wird ein deutlicher Spüleffekt gefordert, der den ganzen Raum erfassen soll, in Blatt 2 dazu noch Zugfreiheit.
- Luftgeschwindigkeiten von 0,15 bis 0,5 m/sec sind zugelassen.

4.2.2 Richtlinien für Operationssäle nach dieser Norm

Nach diesen Richtlinien wurden nach 1964 also Klimaanlagen für Operationssäle konstruiert. Da sich die Verfasser mit der allgemeinen Forderung nach einem "klaren Durchspülungseffekt" begnügten, anstatt Vorschriften für minimal zugelassene oder noch tragbare Luftkeimkonzentrationen zu geben, blieb es den jeweils Verantwortlichen überlassen, eine zufriedenstellende Reinheit der Operations-Arbeitszone zu erreichen. In jedem Fall mußten dazu die angegebenen Mindestdaten für die Luftwechselrate/h übertroffen werden. Die Neufassung der DIN 1946 berücksichtigt wenigstens dies, indem sie 20 Luftwechsel/h vorschreibt. Auch bei ihr fehlt leider weiterhin die Fixierung einer Maximalkeimzahl/Volumeneinheit.
So muß man sich auch in Zukunft noch an US-Standards halten, wo GALSON und GODDARD (9) 35 - 70 K/m^3 für Operationen mit hohen Reinheitsansprüchen als Höchstgrenze setzen, oder man nimmt die detaillierte Aufstellung von RUSSENBERGER zu Hilfe, der verschiedene Luftreinheitsgrade definiert, ihnen bestimmte Keimzahlen zuordnet und gleichzeitig Möglichkeiten nennt, wie sie zu erreichen sind.
Je nach Reinheitsgrad der Luft sind die entsprechend ausgestatteten Räume auch unterschiedlich zu nutzen.
RUSSENBERGER differenziert folgendermaßen (27):

1) Sehr hoher Reinheitsgrad
   - Def.: Praktisch keimfrei
   - Erreichbar durch:
     a) Turbulenzarme Verdrängungsströmung (mit HOSCH-Filter)
     b) Gute Disziplin
     c) Entsprechende Organisation der Arbeitsabläufe

- Anwendung für:
  a) Transplantations- und Implantatchirurgie
  b) Intensivpflege
  c) Herstellung und Prüfung von Sterilpräparaten und Impfstoffen

2) Hoher Reinheitsgrad
   - Def.: 50 - 100 K/m^3
   - Erreichbar durch:
     a) Maximal 10 Personen im Raum
     b) Gute hygienische Disziplin
     c) 20 - 25facher Luftwechsel (mit HOSCH-Filter)
   - Anwendung für:
     a) Allgemeine Chirurgie
     b) Überwachungsstationen
     c) Vorbereitung von Sterilpräparaten zur Anwendung

3) Mittlerer Reinheitsgrad
   - Def.: 100 - 200 K/m^3
   - Erreichbar durch 12 - 18fachen Luftwechsel
   - Anwendung für:
     a) Operations-Vorbereitung
     b) Allgemeine Kranken- und Pflegeräume

4) Geringer Reinheitsgrad
   - Def.: 200 - 400 K/m^3
   - Erreichbar durch 5 - 10fachen Luftwechsel
   - Anwendung für:
     Arbeits- und Aufenthaltsräume ohne besondere Anforderungen

Um also (nach dieser Einteilung) wenigstens einen hohen Reinheitsgrad zu erreichen, der die Durchführung allgemeiner Chirurgie zuläßt, braucht man eine doppelt so große Luftaustauschrate wie in der DIN-Norm 1946 vorgesehen.

Lufteinlaß oberhalb des Fensters durch geneigten Lochdeckenstreifen

Lufteinlaß zonenweise durch Lochdecke

Lufteinlaß zonenweise durch Anemostate

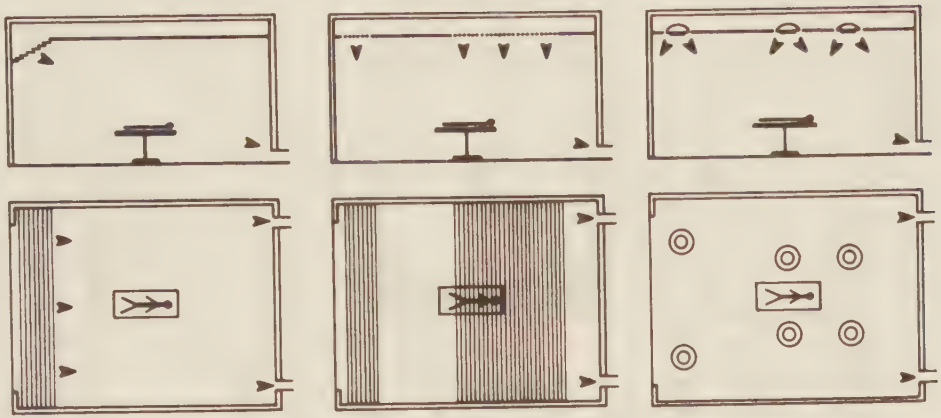


Abb. 2: Luftführung in verschiedenen Operationsräumen nach DIN-Norm 1946

Bei der Luftführung - laut DIN 1946 Bl. 4 - ist der Durchspülungseffekt des ganzen Raumes klar ausgeprägt. Je nach Luftbeaufschlagung können mehr oder weniger Keime in der Arbeitszone und an bestimmten Stellen im Raum festgestellt werden. Eine bestimmte Luftreinheit in der Arbeitszone kann nicht gewährleistet werden.

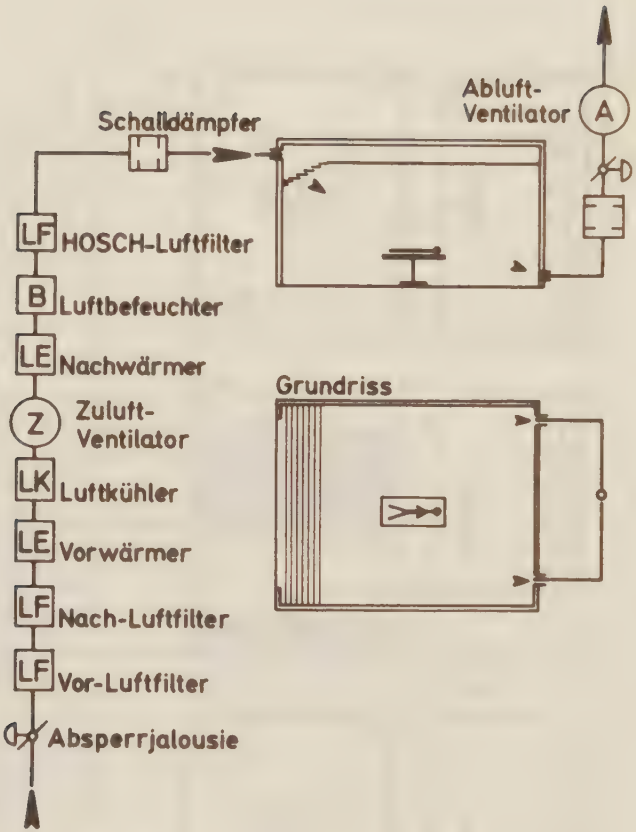


Abb. 3: Klimaanlage nach DIN 1946 - Prinzipschema

4.2.3 OP nach DIN-Norm 1946/4 - räumliche und technische Daten

Nur unter der oben genannten Voraussetzung kann die in Abb. 2 dargestellte Luftführung der Anlagen nach DIN 1946 die Keimkonzentration auf einem zufriedenstellend niedrigen Stand halten, wenn auch nicht das Niveau des vertikalen Laminarstroms mit seiner im Prinzip ähnlichen Luftführung (Abb. 5) gewährleistet wird. Die gefilterte Luft kommt zwar nicht wie bei diesem aus der gesamten Deckenfläche, aber durch zonenweisen Lufteintritt durch eine Lochdecke oder Anemostate wird zumindest das Operationsfeld ausreichend mit frischer Luft versorgt (Abb. 2). Den Aufbau einer derartigen Klimaanlage zeigt das Schema von Abb. 3. Die Anordnung der einzelnen Bestandteile kann dabei in der Reihenfolge variieren.

4.3 Klimaanlagen nach dem Prinzip der Laminarströmung

Technisch aufwendiger ist das Prinzip der horizontalen oder vertikalen Laminarströmung, das ursprünglich für die pharmazeutische Industrie, die feinmechanische Fertigung oder Herstellung feinelektronischer, optischer oder anderer empfindlicher Geräte entwickelt wurde, um für staubfreie Räume zu sorgen.
Da Luftkeime häufig an Staubteilchen oder andere Partikel gebunden sind, ließ sich diese Methode vorteilhaft auf die Belüftung von Operationssälen übertragen. Die Klimatisierung sieht dann folgendermaßen aus:
Ein Umluftventilator mit Frischluftzusatz erzeugt bei richtiger räumlicher Anordnung eine laminare, gerichtete Verdrängungsströmung mit 300 - 500 Luftwechseln/Stunde.

Bei der horizontalen Laminarströmung (Abb. 4) nimmt dabei zwar die Keimfreiheit mit zunehmendem Abstand von der Filterwand ab, doch soll der sterile Raum groß genug sein, um eine Arbeitszone darin unterzubringen. Die vertikale Strömung entsteht auf gleiche Weise, doch hat ihre Luftführung

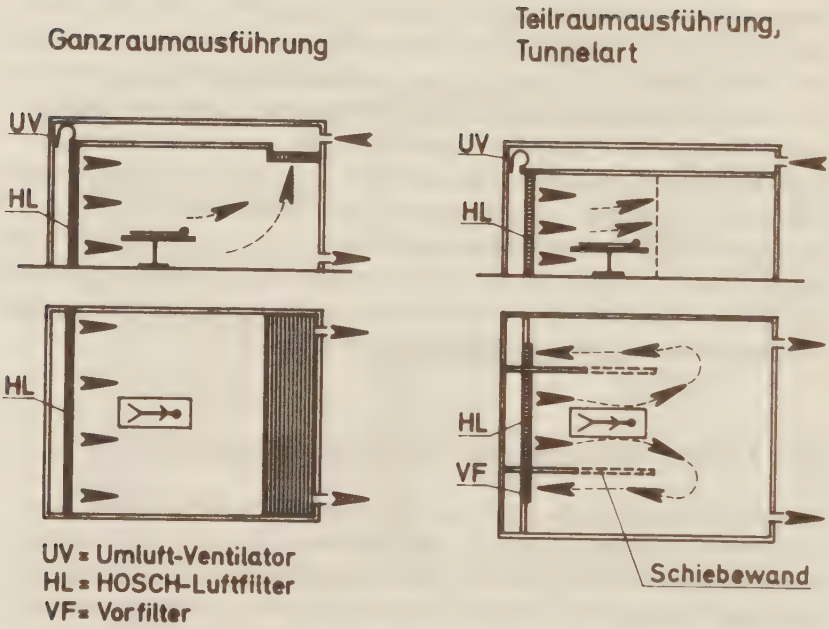


Abb. 4: Luftführung im OP-Raum - Horizontale Laminarströmung

(Abb. 5) zusätzlich den Vorteil, daß sie Wärmeströmen und vom Boden aufgewirbelten Partikeln direkt entgegenwirkt.

Den prinzipiellen Aufbau der beiden Systeme zeigen Abb. 6 und 7. Dazu ist zu bemerken, daß die Verwendung wiederaufbereiteter Umluft nach DIN 1946 nicht zugelassen war.

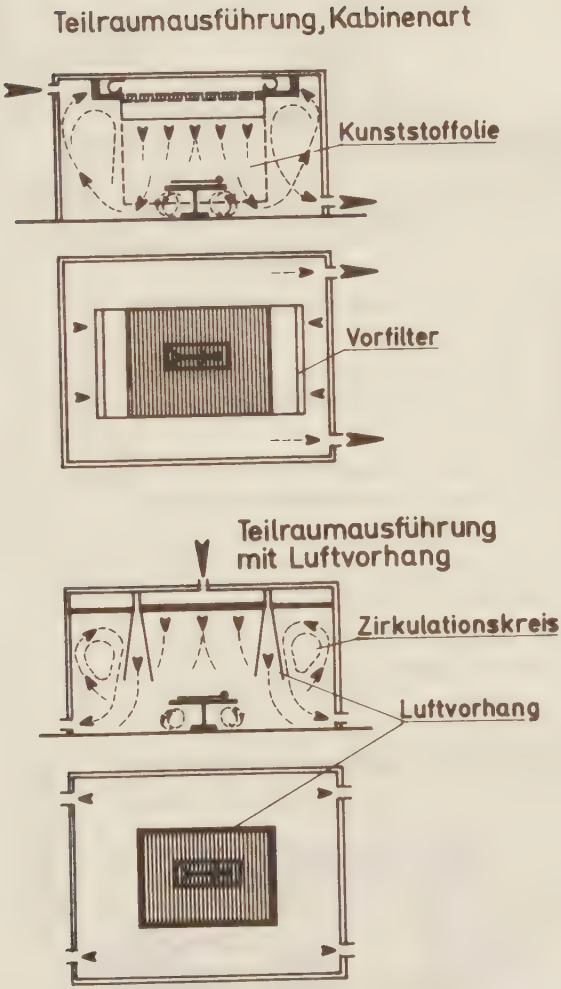


Abb. 5: Luftführung im OP-Raum - vertikale Laminarströmung

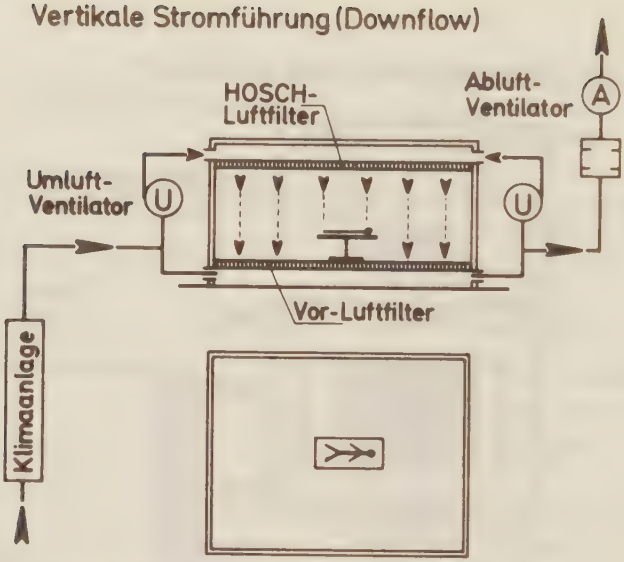

Vertikale Stromführung (Downflow)
HOSCH-
Luftfilter
Abluft-
Ventilator
A
Umluft-
Ventilator
U
U
Vor-Luftfilter
Klimaanlage

Abb. 6

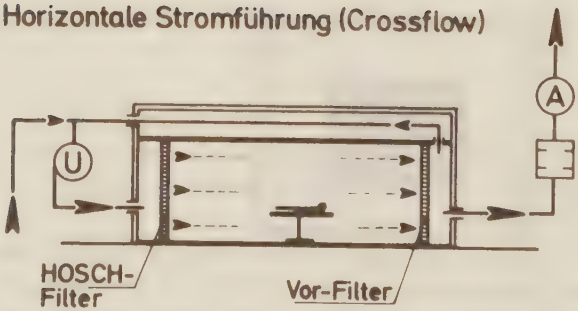

Horizontale Stromführung (Crossflow)
A
U
HOSCH-
Filter
Vor-Filter

Abb. 7

Die Minderung der Luftkeimzahl im Operationssaal mit laminarer Verdrängungsströmung läßt sich zunächst darauf zurückführen, daß die Umwälzung einer so großen Luftmenge zusammen mit einer vorgegebenen Richtung freies Zirkulieren keimbeladener Partikel unmöglich macht. Diese werden vielmehr auf kürzestem Wege aus dem Raum entfernt.
Mit diesem Mechanismus kann man vor allem die Wirkung der horizontalen Laminarströmung erklären. Für das vertikale System haben die Untersuchungen von HELL et al. (13) ergeben, daß über dem Operationsfeld eine Staudruckzone entsteht, wo die Luftgeschwindigkeit = 0 ist, d.h. die Strömung geht am Tisch vorbei.
Hier kann man die Effizienz also eher dadurch begründen, daß die Keime vom Wundgebiet abgehalten werden; ein Abtransport wie oben beschrieben ist weniger von Bedeutung. Auf den Begriff "Laminarströmung" eingehend, weist HELL auf folgenden Widerspruch hin:
Eine lufttechnisch "laminare" Strömung entsteht bei einer Geschwindigkeit von 1 cm/sec und 13 Luftwechseln/h.
Dies ergibt allerdings nicht genügend Druck für eine "gerichtete" Strömung. Bei 250-fachem Luftwechsel und 21 cm/sec herrscht dagegen lufttechnisch gesehen "Turbulenz".
Steigt die Luftwechselrate gar auf über 500/h, so ist das Aufwirbeln sedimentierter Keime vom Boden möglich (v.a. bei Horizontalströmung wichtig).
Um einen ungehinderten Strömungsverlauf zumindest bis zum Patienten zu sichern, dürfen sich beim Horizontal-Flow keine Personen oder Geräte zwischen Filterwand und Wundgebiet befinden, beim Vertikal-Flow muß die herkömmliche Operationslampe an der Decke durch andere Beleuchtungseinrichtungen ersetzt werden. Bei letzterem System ist es nach Meinung von LITONSKI (19) auch besser, die Anlage in Form einer Kabine einzubauen, da sonst Störungen des laminaren Luftvorhangs auftreten können.

Wie LITONSKI sich eine optimal sterile OP-Box nach dem Prinzip des vertikalen Laminar-Air-Flow vorstellt, möchte ich im folgenden kurz beschreiben:

4.4 Theoretisch optimale OP-Box nach LITONSKI (19, 20)

LITONSKI schlägt folgende Luftführung vor, um alle Anforderungen der allgemeinen Hygiene, der Asepsis und vor allem des speziellen Operationsvorganges zu erfüllen (Abb. 8):

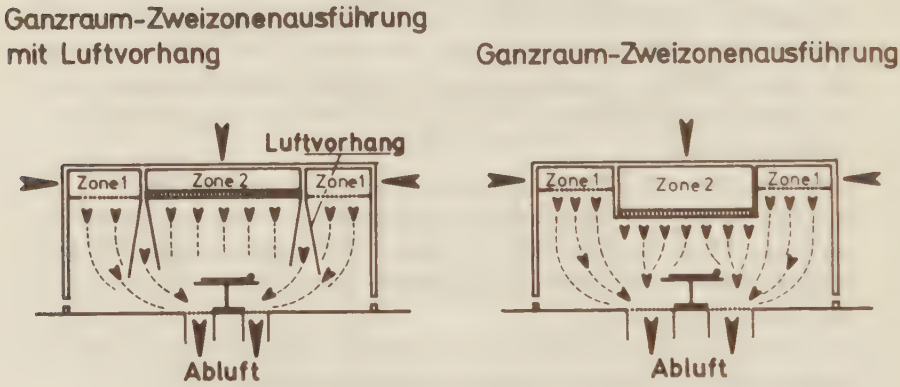


Abb. 8: Luftführung im OP-Raum - Theoretisch optimale Funktion (nach Vorschlag LITONSKI)

Die keimfreie Zuluft soll direkt auf den OP-Tisch treffen. Durch Absaugung genau unter diesem werden aufgewirbelte Partikel schon abtransportiert, bevor sie zu einer Gefahr werden können. Die Keimquellen werden also unmittelbar in Angriff genommen.

Die Verteilung der Zuluft auf 2 Zonen und im Bereich der ganzen Raumfläche verhindert das Entstehen von Zirkulationskreisen, die sich bei anderen Verfahren so ungünstig auswirken.

Durch die spezielle Absaugmethode können bei einem septischen Zwischenfall trotz Überdrucks im Operationssaal keine Keime in Nebenräume entweichen.

Das vorgeschlagene Prinzip kann aber nur in die Planung von Neubauten einbezogen werden. Ein nachträglicher Einbau wie zum Beispiel beim Horizontal-Flow ist nicht möglich.

Ein anderes Prinzip einer sterilen OP-Box ist bereits realisiert worden:
Die von WEBER mit Hilfe von MEIERHANS entwickelte St. Galler Sterilbox (35).

4.5 St. Galler Sterilboxe

Bei ihr wurde versucht, die Nachteile der beiden zugrunde liegenden Modelle von CHARNLEY und WHITCOMB zu vermeiden und die Vorzüge, so weit möglich, auszubauen. Die im November 1970 in Betrieb genommene Anlage sah dann folgendermaßen aus (s.a. Abb. 9):

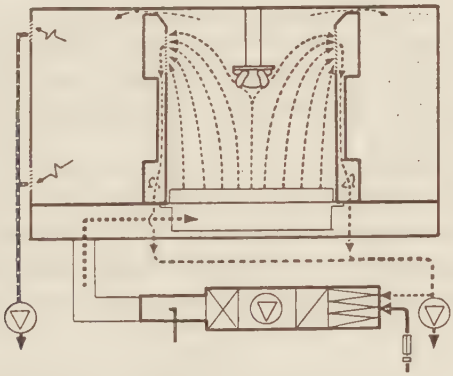


Abb. 9: Luftführung in der sterilen Operationsbox St. Gallen

Durch 700 Luftwechsel/h wird ein großer Überdruck gegenüber der Umgebung erzeugt. Die Keimfreiheit der zugeführten Luft wird durch vorgeschaltete Grobfilter, eine Klimaanlage und, als Hauptfilter, HEPA-Filter mit Porengröße 0,3 Mikron gewährleistet. Dadurch, daß die kolbenförmig von oben eindringende Luft durch ein Kanalsystem in den Seitenwänden weggeleitet wird, wird ihr die Energie genommen, die sonst zu Rückstauturbulenzen führt und eine turbulenzfreie Luftströmung erreicht.

Die seitlich weggeführte Luft, die 80 % der Gesamtmenge ausmacht, strömt in einer Doppelverglasung nach oben, wo sie die Scheinwerfer kühlt, bevor sie nach Klimatisierung und Ultrafiltration als Umluft wieder in die Box zurückkehrt. Durch diese Umluftanordnung wird Energie gespart, und die HEPA-Filter werden vor frühzeitiger Verschmutzung bewahrt. Da nur 20 % der Luft durch den Überdruck die Box verlassen, ist es durchaus möglich, mehrere solcher Boxen nebeneinander einzubauen, wodurch ein OP-Trakt entsteht, der folgendermaßen aufgebaut ist:
Von einer gemeinsamen Sterilzone aus werden die OP-Boxen mit Instrumenten versorgt, von der anderen Seite, der ebenfalls gemeinsamen Anästhesiezone her, werden die Patienten vorbereitet, in die Box gebracht und vom Narkoseteam betreut. Um dieses perfekte System optimal zu nutzen, ist es nach Meinung der Autoren notwendig, daß das OP-Team zusätzlich Helme trägt, aus denen Atemluft und Kühlungsluft abgesaugt werden, entsprechend dem Vorbild des Engländers CHARNLEY.

Im ersten Betriebsjahr der neuen Box kam es bei 350 Operationen (davon 250 TEP's) nur in einem Fall zu einer Infektion. Eine Untersuchung der Luft in der Nähe des Wundfeldes ergab 0,7 K/m^3, während die Luft im Raum rings um die Box 125 K/m^3 aufwies, wie man sie in herkömmlichen OP's häufig findet.

Dieser meßbare Erfolg war die Grundlage dafür, daß derartige Boxen jetzt schon in mehreren neugebauten OP-Abteilungen stehen. Auch der Einbau von Horizontal-Flow-Anlagen, der nachträglich möglich ist, nahm in der Folgezeit rasch zu.

4.6 OP-Räume mit Keimstop-System (Membranen) (21)

Auch diese Art von Klimaanlagen nahm in letzter Zeit an Häufigkeit und Bedeutung zu.
Es handelt sich dabei um raumlufttechnische Anlagen nach DIN-Norm mit HOSCH-Filterdurchlässen über dem Operations-

feld, bei denen durch eine raumtrennende Membran der OP noch in eine hygienisch bevorzugte OP-Seite und in eine weniger bevorzugte Anästhesieseite unterteilt wird.
Damit werden im Sinne der non-infection nach KANZ (16) die Keimemissionen auf ein Minimum beschränkt.

Prinzip des Strömungsverlaufs:
Der konventionelle Zuluftvolumenstrom wird auf der sterilen Seite eingeblasen, von dort auf die Anästhesieseite gedrückt und entweicht durch die im unsterilen Bereich lokalisierten Abluftgitter.

5. EIGENE VERSUCHE

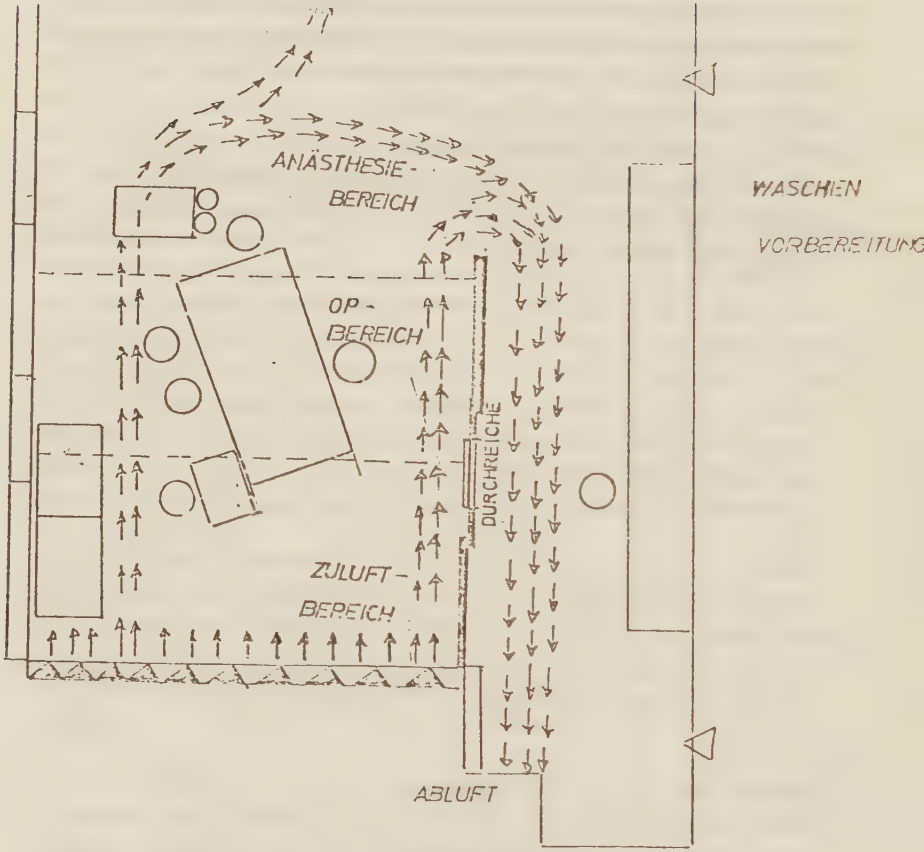


Abb. 10: Grundrißskizze des LAF-OP's in der Orthopädischen Klinik Würzburg. Die Luftführung ist durch Pfeile angedeutet.

5.1 Der Laminar-Air-Flow-OP in Würzburg

Auch die Orthopädische Universitätsklinik in Würzburg besitzt seit mehreren Jahren einen Operationssaal mit Crossflow-Technik vom Typ Envircomedic, Größe 120 OR, Reinheitsklasse 100, First Air (nach US-Standard 209a), der nachträglich in einen schon vorhandenen OP eingebaut wurde.

Wegen der geringen Deckenhöhe (2,85 m) kam sowieso nur das Prinzip der horizontalen Laminarströmung in Frage.
Um in dem 6 m langen und 4,15 m breiten Raum eine möglichst gleichmäßige Luftführung zu verwirklichen, wurden die Fenster bündig verkleidet. Die verschiebliche Glaswand auf der Gegenseite läuft in Schienen, die an der Decke befestigt sind. Im Mittelteil dieser Schiebewand befindet sich noch eine Durchreiche.
Die durch HEPA-Filter gereinigte Zuluft strömt aus der ganzen Höhe und Breite der Wand, die Absaugung erfolgt hinter der Glaswand, in Höhe der Zuluftwand (Abb. 10).

Technische Daten:
Die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit liegt laut Hersteller bei 0,45 m/sec ($\pm$ 0,1 m/s), was eine Sollzuluftmenge von 21 500 m^3/h ergibt, entsprechend einer Luftwechselrate von ca. 300/h.
Im konventionellen OP des gleichen Hauses beträgt die Zuluftmenge im Vergleich dazu 2 400 m^3/h, die Zahl der Luftwechsel pro Stunde ist entsprechend geringer, nämlich ca. 19,3/h.
Die ersten drei Filterstufen der GEMA-Intensivhaube des herkömmlichen OP's entsprechen denen im LAF-OP, doch kommt bei diesem noch eine 4. Stufe mit HEPA-Filtern dazu.

5.2 Nachweisverfahren zur Bestimmung der Luftkeimzahl

Bevor ich auf die von mir in den OP's der Orthpädischen Universitätsklinik Würzburg durchgeführten Versuche eingehe, mit denen ich die Effizienz der eingebauten Klimaan-

lagen anhand der Luftkeimkonzentration in beiden Räumen vergleichen wollte, möchte ich allgemein die gängigen Verfahren zum Nachweis in der Luft vorhandener Mikroorganismen beschreiben.
Ich beschränke mich dabei auf die Darstellung von Methoden, die zum Nachweis der wichtigsten Verursacher von Wundinfektionen auf dem Luftwege, nämlich Bakterien und Pilze, führen.
Diese Keime sind in der Luft praktisch immer an Staubteilchen oder Wassertröpfchen gebunden, so daß viele Verfahren auf deren Erfassung beruhen.
Man kann im wesentlichen 3 Prinzipien unterscheiden (nach RUSSENBERGER (27)):

1) Sedimentation
2) Aufprall
   a) Impingement
   b) Impaction
   c) Zentrifugation
3) Filtration

Bei allen erwähnten Methoden sind mindestens 2 Stufen für den Nachweis nötig:
Zuerst das Auffangen der Keime in unterschiedlicher, also für die einzelne Methode typischer Weise, danach, für alle gleichermaßen zutreffend, das Bebrüten auf geeigneten Nährböden.

5.3 Beschreibung der einzelnen Verfahren

5.3.1 Sedimentationsplatte

Dies ist bei weitem die einfachste, technisch am wenigsten anspruchsvolle Möglichkeit, Luftkeime nachzuweisen.
Man exponiert offene Nährböden, die sich in kreisrunden Petrischalen (Durchmesser ca. 9 cm) befinden, für eine bestimmte Zeit (meist 0,5 - 1 h) und bebrütet sie dann entsprechend der nachzuweisenden Keimart.

Nach GUNDERMANN (11) sollen auch bei längeren Expositionszeiten (bis zu 4 h) keine Austrocknungserscheinungen mit sich daraus ergebenden Verfälschungen auftreten.

Eine bedeutsame Fehlerquelle besteht jedoch darin, daß nur solche Erreger erfaßt werden können, die an schwere, sedimentationsfähige Teilchen gebunden sind. Manche Autoren sehen darin insofern keinen so gravierenden Nachteil, als sie annehmen, daß auch die Wundkontamination aus der Luft größtenteils auf dem Wege der Sedimentation erfolgt.

Weitere Nachteile beinhaltet die Tatsache, daß man kaum auf die Keimzahl pro Luftmenge schließen kann und somit ein Vergleich mit Ergebnissen, die durch andere Methoden erzielt wurden, schlecht möglich ist. Der große Vorteil liegt dagegen in der einfachen Art der Probenahme und Auswertung, so daß die Methode für orientierende Messungen gut geeignet ist.

5.3.2 Aufprallverfahren

5.3.2.1 Impingementverfahren

Bei dieser Methode wird die Luft in ein Glasrohr gesaugt, das an seinem Ende in eine Kapillare übergeht. Durch deren schmalen Querschnitt wird sie beschleunigt und dann in eine Absorptionsflüssigkeit geleitet, die z.B. beim All-Glass-Impinger aus einer auf pH 7 gepufferten Kochsalzlösung besteht. In dieser Lösung werden die Keime festgehalten, während die Luft weiter durch eine Gasuhr geleitet wird, um das gemessene Volumen zu bestimmen, was nötig ist, damit nachher der Keimgehalt/m^3 angegeben werden kann. Die Erwärmung der Lösung und mögliche Verdunstungsfehler werden durch Kühlung mit Hilfe eines Eisbads verhindert.

Für die Auswertung gibt es, abhängig von der zu erwartenden Keimzahl, verschiedene Möglichkeiten:

Bei hoher Keimkonzentration stellt man von der Absorptionslösung Verdünnungsreihen her und daraus wiederum Proben im Plattengußverfahren.

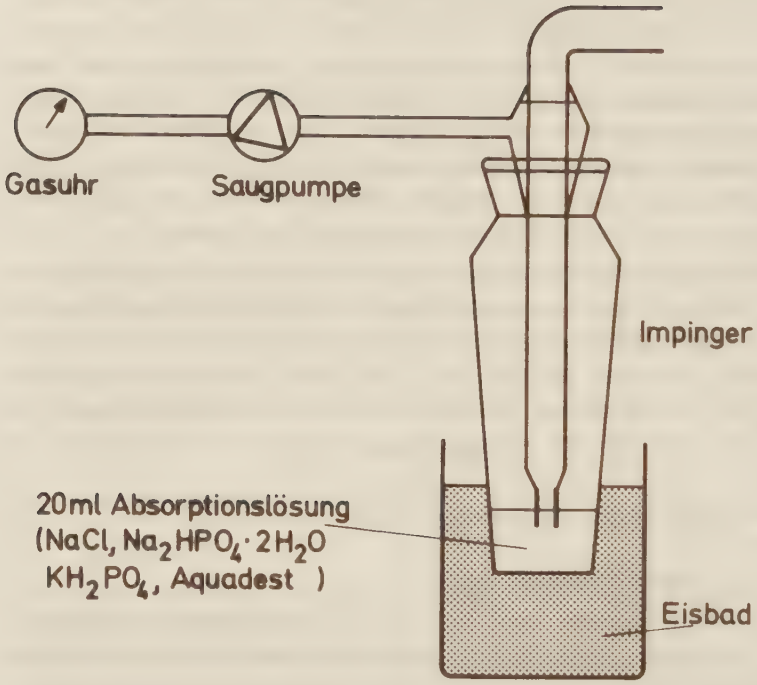


Abb. 11: Beschriebener Versuchsaufbau beim Impingement-verfahren

Bei niedriger Keimzahl reichert man diese durch Membranfiltration an und überträgt die Filter auf Nährböden.

Eine zu hohe Ansauggeschwindigkeit kann bei empfindlichen Keimen zu erhöhtem Verlust durch Absterben führen. Für solche muß dann die Durchflußrate von den üblichen 12 l/min auf Werte bis unter 2 l/min gesenkt werden.
Aus den obigen Ausführungen ergibt sich eine lange Bearbeitungs- und dadurch Aufbewahrungsdauer der Proben, wodurch wiederum viele Keime absterben können.

Eine weitere Fehlerquelle besteht in zeitweiliger Schaumbildung mit folgendem Wegspülen von Impingerflüssigkeit.

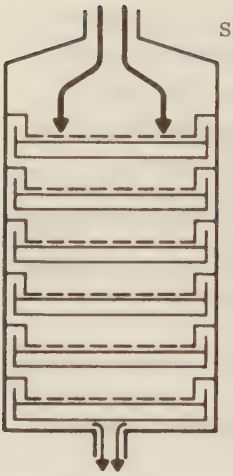
Aufgrund der erwähnten Nachteile und von Fall zu Fall unterschiedlicher Fehlerquoten ist das Impingementverfahren für vergleichende Messungen weniger empfehlenswert.

5.3.2.2 Impaction-Verfahren (Slit-Sampler, ANDERSEN-Sampler)

Mit dem Slit-Sampler wird Luft durch eine schmale Öffnung angesaugt, stark beschleunigt und dann direkt auf einen festen Nährboden geblasen.
Dieser kann, ohne daß wie beim Impinger eine Zwischenstufe vonnöten ist, sofort bebrütet werden.
Die Zahl der Keime/m^3 kann aus den gewachsenen Kolonien/angesaugte Luftmenge ermittelt werden.
Während der Probenahme führt die Nährbodenplatte eine Umdrehung aus, so daß sich die Keime gleichmäßig über die Fläche verteilen. Dadurch erhält man auch Aufschluß über die zeitliche Verteilung der Keimkonzentration im Verlauf der Messung.
Die Volumenmenge ist leicht zu bestimmen, weil mit konstantem Unterdruck 30 l/min angesaugt werden.

Die Methode bietet also folgende Vorteile:
- Feststellung von zeitlichen Keimzahlschwankungen
- Durch raschen Plattenwechsel ist Möglichkeit der kontinuierlichen Messung geboten
- Geringer zeitlicher Aufwand

Die Anwendbarkeit der Slit-Sampler wird allerdings durch den Nachteil eingeschränkt, daß hohe Keimkonzentrationen nicht mehr sicher auszumessen sind, weil nicht wie beim Impinger die Möglichkeit gegeben ist, Agglomerationen von Teilchen aufzuspalten.
Beim ANDERSEN-Sampler (Abb. 12) ist zusätzlich zu den bereits beim Slit-Sampler beschriebenen Vorzügen noch die Möglichkeit der Differenzierung vorhanden. Dadurch, daß die Partikel in verschiedenen Größengruppen auf Nährböden abgelagert werden, stellt man fest, ob gefundene Teilchen in Wunden sedimentieren oder ob sie lungengängig sind.



Stufe	Lochdurchmesser (mm)	Luftgeschwindigkeit (m/sec)	Partikelgrößen
1	1,18	1,08	8
2	0,91	1,81	5 - 10
3	0,71	2,97	3 - 6
4	0,53	5,28	2 - 4
5	0,34	12,78	1 - 2
6	0,25	23,29	1

Je 400 Löcher/Platte
Bei 30 min Probedauer 850 l Luft/Messung

Abb. 12: Schematische Skizze vom Aufbau eines ANDERSEN-Samplers

5.3.2.3 Zentrifugation

Bei der Zentrifugation rotiert die zu untersuchende Luft auf einer Kreisbahn, wobei darin enthaltene Partikel herausgeschleudert werden und man sie auf Nährböden zum Nachweis einfangen kann.
Da die auf die Partikel wirkende Zentrifugalkraft proportional zu deren Masse ist, kann man auch in etwa auf die Größe der Teilchen schließen.

5.3.3 Filtration

Bei allen Filtrationsmethoden, ob mit Papier-, Membran-, Sand-,oder Gelatinefiltern, wird Luft mit konstantem Unterdruck durch das jeweilige Filter gesaugt, an welchem dann die Keimpartikel haften bleiben. Danach werden die Filter entweder direkt auf einen entsprechend geeigneten Nährboden gelegt und bebrütet oder sie werden in physiologischer Koch-

salzlösung aufgelöst und dann im Plattengußverfahren weiterverarbeitet.
Da auch ich einen Teil meiner Versuche, und zwar den entscheidenden, nach der allerdings etwas modifizierten Gelatine-Membranfiltermethode durchgeführt habe, möchte ich auf diese in ihrer Originalfassung an dieser Stelle näher eingehen.

Die grundsätzliche Versuchsanordnung besteht aus einem Filterhalter, der über einen Schlauch mit einer Saugpumpe und diese wiederum mit einer Gasuhr zur Messung des Durchflußvolumens verbunden ist. Ansaugrichtung und -geschwindigkeit können den Verhältnissen am Ort der Messung angepaßt werden. Bei einer Ansauggeschwindigkeit von mehr als 25 l/min kann es nach Meinung mancher Autoren zu falsch niedrigen Ergebnissen kommen, ohne daß sie jedoch eine Ursache dafür angeben konnten. Die abnehmenden Werte bei einer von 5 bis 60 min zunehmenden Meßdauer begründen dieselben Verfasser mit erhöhter Absterberate und unterschiedlicher Resistenz verschiedener Keimarten gegenüber dem Vorgang der Filtration.

Die Auswahl der Auswertungsverfahren, wobei außer den oben erwähnten auch noch das Ausspateln auf festen Nährböden oder die Anreicherung mit Hilfe zusätzlicher Filtration durch Membranfilter in Frage kämen, hängt in erster Linie von Art und Anzahl der erwarteten Keime ab.
Wesentlich für die Aussagekraft von Messungen mit Hilfe der Gelatine-Membran-Filtermethode und gleichzeitig eine mögliche Gefahrenquelle ist die Geschicklichkeit beim Wechsel der Filter. Diese brechen nicht nur leicht beim Anfassen mit der Pinzette, es kann auch zur Sekundärkontamination kommen.

Der zeitliche Aufwand schwankt in Abhängigkeit von der Art der Probeauswertung.
Das Ergebnis kann nach einfacher Umrechnung in Keimzahl pro Volumeneinheit angegeben werden.

Abb. 13: Einfacher Filterhalter für Gelatine-Membranfilter

5.4 Versuche mit Sedimentationsplatten

5.4.1 Versuchsbeschreibung

Ich begann meine Versuchsreihen, die einen Vergleich der Luftkontamination in den beiden mit unterschiedlichen Klimaanlagen ausgerüsteten OP-Räumen zum Ziele hatten, damit, daß an einander entsprechenden Stellen in den zwei Sälen Petrischalen mit Blut-Agar- und Sabouraud-Nährböden (zum Pilznachweis) verschieden lange exponiert wurden.

Die Leermessungen in betriebsfreien Stunden in den 2 Operationssälen, die ich zur Orientierung an den Anfang stellte, ergaben folgendes Bild:
Die von mir gewählten Expositionszeiten von 0,5 bis 2 h zeigten einen Anstieg der Keimausbeute bis zum 1-Stunden-Wert, dann jedoch ein Plateau oder schon ein Wiederabsinken, so daß in vielen Fällen nach 2 Stunden weniger Kolonien gezählt wurden als nach einer halben Stunde. Gründe hierfür könnten ungenügende Haftung keimbeladener Partikel infolge des relativ geringen Anpreßdrucks der Luftströmung oder vorzeitige Austrocknung empfindlicher Keime sein.
Die Auswertung erfolgte jeweils in der Art, daß ich die Blutagarplatten 48 Stunden lang bei 37°C und die Sabouraud-Böden zum spezifischen Pilznachweis 5 Tage lang bei 22°C bebrüten ließ.

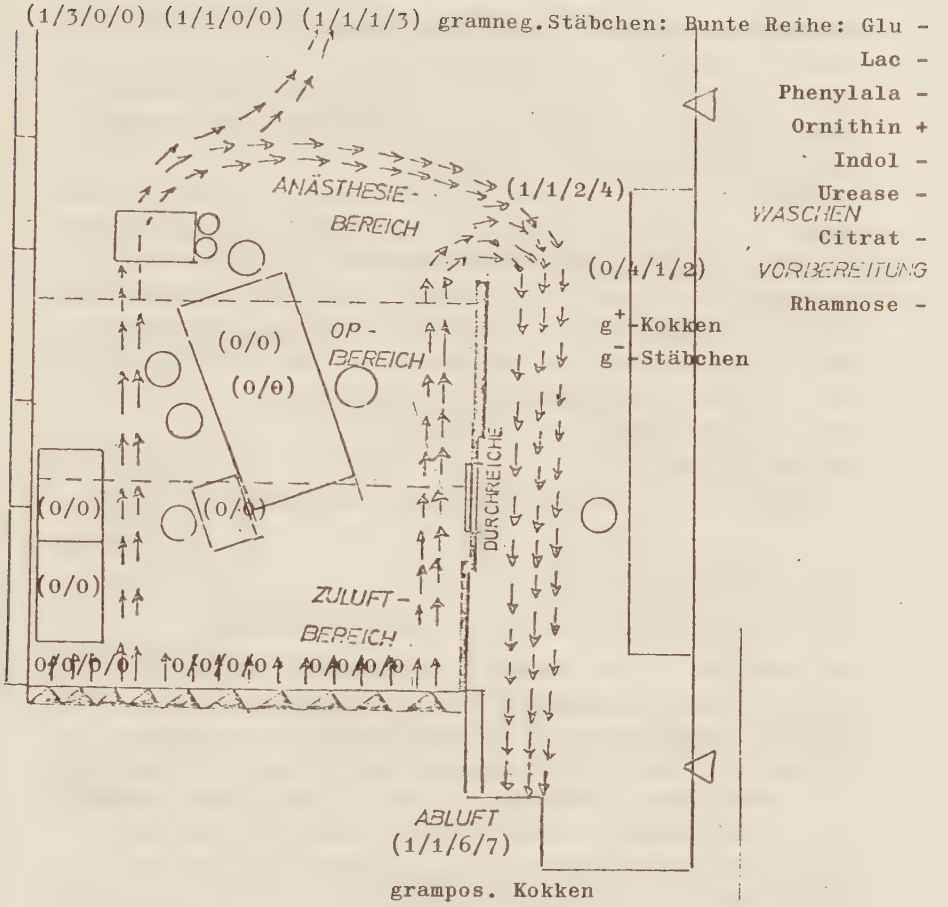


Abb. 14

Ergebnisse der Keimzahlmessungen im leeren Laminar-flow-OP mit Hilfe von Sedimentationsplatten. Angegeben ist die Anzahl der Kolonien, die an den verschiedenen Expositionsorten nach 0,5 / 1 / 1,5 / 2 Stunden gezählt wurden (nach 2 Tagen Bebrütung bei 37°C).
Im Vergleich dazu wurden im konventionellen OP folgende Resultate an korrespondierenden Stellen in der Umgebung des OP-Tisches und auf diesem ermittelt:

(1/3/10/12)
(0/1/7/9) grampos. Kokken und Stäbchen, gramneg. Stäbchen
Außerdem: In 2 Fällen Sproßpilze

Dem Auszählen der Kolonien schloß sich eine selektierende Differenzierung an, die beinhaltete, daß ich von Populationen, die sich in Farbe und Wachstumsform unterschieden, zunächst Präparate in Gramfärbung anfertigte, die ich dann unter dem Mikroskop untersuchte.
Abhängig von den dabei gefundenen Keimarten kamen dann weitere Tests in Frage, die in der Hauptsache das enzymatische Potential der Mikroorganismen betrafen.
Die auf diese Weise ermittelten Koloniezahlen schwankten im LAF-OP zwischen 0 und 1 im Zuluft- und OP-Tisch-Bereich sowie zwischen 0 und 7 im Abluftbereich (Abb. 14 zeigt das Ergebnis an den verschiedenen Expositionsorten, projiziert auf eine OP-Skizze).
Im konventionellen OP wurden im Vergleich dazu 0 - 17 K/Platte erreicht, d.h. es ergab sich keine nennenswerte Differenz.

5.4.2 Versuchsergebnisse

5.4.2.1 Ergebnis der Messungen in den leeren OP's

Wie auch aus Abb. 14 ersichtlich ist, fand ich im Laminar-Flow-OP vor allem grampositive Kokken und (seltener) Stäbchen, im Abluftbereich dazu noch gramnegative Stäbchen. Letztere erwiesen sich bei weiterer Prüfung als zwar alkalisierende (Hugh-Leifson-Agar), aber nicht fermentierende Keime (Bunte Reihe bis auf Ornithin durchwegs negativ), was dafür spricht, daß es sich um Keime der Alkaligenes-Achromobacter-Gruppe handeln könnte.
Der konventionelle OP bot in etwa das gleiche Keimspektrum, wobei die gramnegativen Erreger ein wenig häufiger waren. In 2 Fällen ließen sich zusätzlich Sproßpilze nachweisen.

5.4.2.2 Messungen während vergleichbarer Operationen

Im weiteren Verlauf untersuchte ich die Luftkontamination während häufig durchgeführter, also für den jeweiligen Saal möglichst typischer Operationen, indem ich an entsprechenden Stellen in der Umgebung beider OP-Tische, im LAF-OP dazu noch im Zu- und Abluftbereich wie bei den Leerversuchen,

meine Petrischalen mit Blutagar und Pilznährboden exponierte.
Um außerdem festzustellen, wie sich die Keimbeladung mit fortschreitender Operationsdauer verändert, stellte ich Platten an einem Ort auf, wo eine Messung auch während OP-Pausen weitergehen konnte, und wechselte sie in halbstündigen Intervallen aus.
Die Versuche während verschiedener Operationen erbrachten folgende Resultate:

Laminar-Flow-OP

(Kolonie/Platte)	Zuluft	OP-Tisch (Luv)	OP-Tisch (Lee)	Abluft
Arthrodese	0 - 1	0 - 4	4 - 13	2 - 5
Totalendoprothese	0	0 - 5	7 - 12	5 - 9
Meniskektomie	0 - 2	0 - 5	2 - 6	5 - 6
Varisierung	0 - 1	0 - 2	5 - 7	7 - 10

Die Verlaufsmessung an einem festen Ort im LAF-OP ergab, daß die Keimkonzentration nach der ersten Operation zunahm, dann aber in etwa konstant blieb:

		Beginn ↑			OP-Wechsel ↑				Ende ↑	
Uhrzeit (h)	8^{00}	8^{30}	9^{00}	9^{30}	10^{00}	10^{30}	11^{00}	11^{30}	12^{00}	12^{30}
Koloniezahl	0	0	2	2	8	6	8	7	4	11

Bei Varisierung und Osteotomie im konventionellen OP zeigte sich, verglichen mit den Werten im LAF-OP, keine große Differenz:
In der Umgebung des OP-Tisches fand ich dabei 5 - 8, im Anästhesiebereich 20 - 25 Kolonien/Platte.

Die Keimdifferenzierung brachte nahezu dieselben Ergebnisse wie bei den Leerversuchen:

Wiederum waren es im LAF-OP zu 90 % Staphylokokken, der Rest setzte sich zusammen aus gramnegativen und grampositiven Stäbchen, wobei sich die gramnegativen erneut als alkalisierend, aber nicht fermentierend erwiesen. Diese Keime kamen im konventionellen OP zwar etwas häufiger vor, doch überwogen auch hier die Staphylokokken. Stichprobenartig durchgeführte Pathogenitätstests waren bei diesen negativ; es dürfte sich hauptsächlich um Staphylococcus epidermidis handeln.

5.4.3 Wertung der Ergebnisse

Mit der Sedimentationsplatte ist es nicht möglich, einen signifikanten Unterschied der verglichenen Klimaanlagen bezüglich ihrer Wirksamkeit beim Einsatz im Operationssaal festzustellen.
Meiner Ansicht nach sind folgende Fehlerquellen dieser Methode dafür verantwortlich zu machen, daß sich nur eine geringe und deshalb nicht verwertbare Keimzahldifferenz ergab:

1) Bei weitem nicht alle der im untersuchten Teil des Raumes vorhandenen Keime bzw. keimbeladenen Partikel sedimentieren bei der herrschenden Luftströmung, obwohl sie von Größe und Gewicht her dazu imstande wären.

2) Bei längerer Expositionszeit werden wegen Austrocknung fälschlich niedrige Zahlen ermittelt, vorhandene Unterschiede sind nicht nachzuweisen.

3) Am unzulänglichsten erweist sich die Methode, wenn es darum geht, die Messungen in größtmöglicher Wundnähe durchzuführen.
Die Petrischalen enthalten zwar sterile Nährböden, sind aber äußerlich unsteril, so daß ich eine gewisse Distanz nicht nur vom Wundfeld, sondern bereits von der Abdeckung nicht unterschreiten durfte, da meine Untersuchungen sonst zu einem erhöhten In-

fektionsrisiko des Patienten geführt hätten. Bei einigen Operationen erreichte ich eine Verkleinerung des Abstands, indem ich die Petrischalen in sterile Nierenschalen plazierte und diese dann vom Assistenten auf der Abdeckung befestigen ließ, in einer Entfernung, die die Arbeit des OP-Teams nicht behinderte.

Aus den oben angeführten Gründen war es mit Hilfe von Sedimentationsplatten nicht möglich, den Beweis zu erbringen, daß die modernere Klimaanlage zu einer deutlich niedrigeren Luftkeimzahl im Laminar-Flow-Operationssaal, verglichen mit der im herkömmlichen, führt.

Uhrzeit	9	10	11	12	12^{30}	
Staph.epiderm.	2	6	7	4	8	[kol/Platte]
Achromobacter	0	2	1	0	3	
Keime ges.	2	8	8	4	11	

Keimzahlmessung an bestimmtem Ort während eines OP-Tages

Staphylokokken	4	5	2	7	4	0	4	1	0	[kol/Platte]
Achromobacter	0	3	0	0	0	0	0	0	0	Expositions-
Sonstige	0	0	0	6	2	0	0	0	0	zeit: 30 min
Ges.-Keimzahl	4	8	2	13	6	0	4	1	0	

Keimzahlmessung während Arthrodese

5.5 Versuche mit modifizierter Membranfiltermethode

Eine bessere Möglichkeit, Vergleichsmessungen in beiden Operationsräumen durchzuführen, bot sich in Form der von MEIERHANS in Zürich weiterentwickelten Gelatine-Membranfilter-Methode

(21); Versuchsaufbau s. Abb. 15.
Diese unterscheidet sich in folgenden Punkten vom zugrunde liegenden SARTORIUS-Membranfilter:

1) Durch Parallelschaltung mehrerer Filter wird pro Zeiteinheit ein besserer Mittelwert der Probenahmen erreicht.
2) Die kurze Expositionszeit (5 Minuten) verkleinert den Fehler, der durch Austrocknung entsteht.
3) Die kurze Exposition läßt auch zeitlich eng begrenzte Extremwerte nachweisen.
4) Genaue Einstellung von Absaugmenge und Expositionszeit ist möglich.
5) Die Konstruktion ermöglicht zeitsparende und sterile Handhabung.
6) Einfache Auswertung durch günstige Abstimmung von Absaugmenge, -zeit und aktiver Filterfläche.
7) Luftkeimzahlpegel bis zu 1 000 KbE/m^3 sind auszählbar (ca. 100 KbE/Filter).

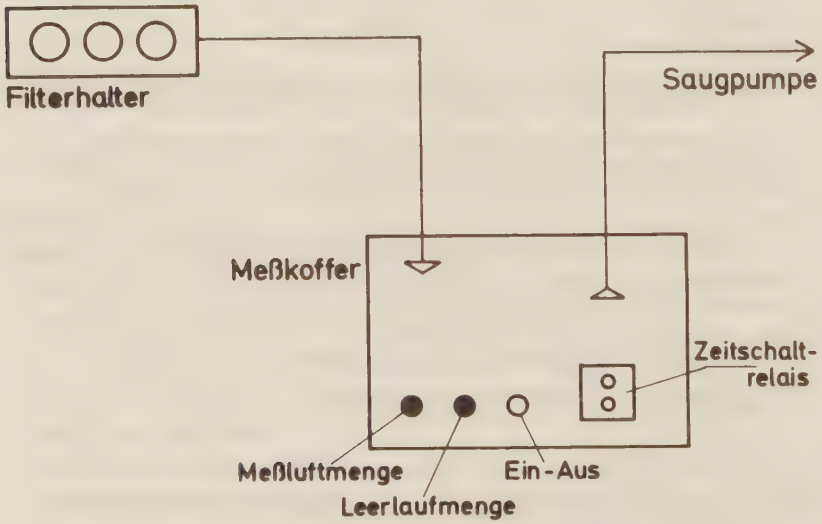


Abb. 15: Modifizierte Membranfiltermethode (Versuchsaufbau)

5.5.1 Abstimmung des Versuchsprogramms

Der oben beschriebene modifizierte Membranfilter eröffnete mir die Möglichkeit, meine Ergebnisse mit denen zu vergleichen, die an anderen Kliniken mit demselben Meßgerät erzielt wurden. Voraussetzung dafür war auch eine weitgehende Übereinstimmung der übrigen Versuchsbedingungen. Folgende Absprachen wurden getroffen, um eine ausreichende Vergleichsgrundlage zu schaffen:

1) Bei allen ausgemessenen Operationen an einer Klinik sollte das gleiche oder zumindest ein gleichermaßen erfahrenes und eingespieltes Team im Einsatz sein.
2) Alle zum Vergleich herangezogenen operativen Eingriffe mußten in Art, Dauer, Schwierigkeitsgrad und Zahl der beteiligten Personen einander entsprechen.
3) Die Messungen sollten in jedem OP durchgeführt werden:
   1 Stunde vor Beginn des Programms im leeren Raum, danach während der 1. und 3. Operation des Tages.
4) Es sollte genau Protokoll geführt werden über Art des Eingriffs, Zeiten, besonders auffällige Aktivitäten (Abdecken, Umlagern, Röntgen) oder Unruhe (häufiges Sprechen, Türöffnen, hektische Bewegungen bei Komplikationen oder bei Sägen, Meißeln, Repositionen) sowie über die Zahl der im Raum anwesenden Personen.
5) Die Messungen sollten kontinuierlich, in kurzen Intervallen (5 Minuten Messung - 2 Minuten Pause zum Filterwechsel) stattfinden.

Die an anderen Kliniken auf diese Weise ermittelten Resultate werde ich später, unter Hinweis auf die technischen Daten der jeweils installierten Klimaanlagen, den meinigen gegenüberstellen.

DGOT - Arbeitskreis LAF und Krankenhaushygiene | Formular 1

Meßprotokoll für Luftkeimzahl - Bestimmungen | Blatt

Datum	Operateur
Klinik	1. Assistent
OP - Raum	2. Assistent
Eingriff	3. Assistent
Patient/Alter/oo	Instrumentenschw.
Code	Zudienschw.

Probe-nahme	Nähr-boden	t_o	Anzahl - Pers.	OP - Leerlauf Besondere Vorkommnisse	F_1	F_2	F_3	Summe/ Keim-arten (Sa)	K/m^3 (= Sa x 3)
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									

Abb. 16: Muster eines Auswertungsbogens

5.5.2 Beschreibung der Versuche mit Membranfiltermethode

Nachdem die grundsätzlichen Versuchsbedingungen feststanden, begann ich, die Messungen in diesem Sinne vorzubereiten:
5 Tage vor dem jeweiligen OP-Tag mit passendem Programm (entsprechend den oben aufgeführten Bedingungen) bestellte ich die ausreichende Anzahl von Petrischalen mit Blutagar- und Sabouraud-Nährböden und stellte sie im Kühlschrank bereit.
Je 5 Schalen ließ ich als Leerwerte bebrüten, um völlig sicher zu gehen, sterile Böden zu verwenden.
Am Tag vorher, nachdem ich mich nochmals vergewissert hatte, daß das geplante und für meine Zwecke geeignete OP-Programm auch wirklich stattfinden würde,
beschriftete ich die Petrischalen auf der Unterseite (je 3 für eine Meßperiode) und stapelte sie dann mit der Schrift nach oben.
Die 3 Kunststoffschläuche des Gerätes ließ ich zusammen mit den Filterhaltern erst noch sterilisieren, bevor ich die gesamte Versuchsanordnung im OP aufbaute.
Dazu gehörte, den Filterhalter mit dem Meßkoffer und diesen wiederum mit der Saugpumpe zu verbinden.
Um einen möglichst realistischen Probelauf durchzuführen, setzte ich den Filterhalter dabei komplett mit Filtern zusammen.
Beim Test selbst ging ich so vor, daß ich zunächst am rechten, roten Drehknopf am Meßkoffer die Leerlaufmenge einstellte (Schwimmeroberkante am Anzeigegerät auf 187 mm) und das Zeitrelais auf 295 Sekunden einjustierte.
Die Auslösung erfolgte dann durch kurzen Druck auf den grünen Knopf. Während der Ablaufzeit des Relais ließ sich die Meßluftmenge mit dem linken roten Knopf einstellen (Schwimmeroberkante wiederum stets auf 187 mm zu halten).
Nachdem das Meßgerät in dieser Weise vorbereitet war, füllte ich noch die nötige Anzahl von Gelatinefiltern mitsamt ihren Schutzrondellen in eine sterile Dose und achtete dann darauf, daß sie trocken aufbewahrt wurden, um nach Möglichkeit ein Ankleben am Filterhalter nach der Messung zu verhüten.

Nun mußten nur noch 2 Filterhalter, 3 rote Drehknöpfe, 2 grüne Schutzkappen, 2 Pinzetten und der Schlauch Nr. 1 für den nächsten Tag zum Sterilisieren gegeben werden. Die übrige Meßanordnung ließ ich so stehen, um so früh wie möglich am folgenden Tag mit dem Versuch beginnen zu können.

Während des Operationstages selbst mußten die für den Versuch notwendigen Tätigkeiten aus Sterilitäts- und Zeitgründen auf mindestens 2 Personen verteilt werden. Wir führten die Messungen sicherheitshalber zu dritt durch und gingen dabei folgendermaßen vor:
Die "sterile Meßperson" stand, steril eingekleidet, neben den Operateuren, also in unmittelbarer Nähe des Wundfeldes. Sie fixierte zunächst den sterilisierten Schlauch Nr. 1 mit einer Tuchklemme an der Abdeckung des Patienten. Daran schloß sie den Filterhalter für die jeweilige Meßperiode an und hielt ihn so, daß mit Sicherheit Luft aus dem Bereich über der Wunde abgesaugt wurde, die Operateure aber nicht behindert wurden, was zu einer Risikoerhöhung für den Patienten und zu einer Verfälschung unseres Ergebnisses hätte führen können.
Nach Ablauf der Expositionszeit von jeweils 5 Minuten entfernte sie den Filterhalter vom Operationsgebiet, öffnete ihn und legte die Filter in die vom 1. Helfer bereitgehaltenen Petrischalen. Dann bestückte sie den Filterhalter erneut, um ihn zu dem vom 1. Helfer angegebenen Zeitpunkt wieder zu exponieren.
Die Aufgabe des 1. Helfers bestand darin, die Einstellung des Gerätes, entsprechend den schon beim Probelauf angeführten Richtlinien, zu überwachen, die Petrischalen vom 2. Helfer zu übernehmen, von der sterilen Meßperson beschicken zu lassen und sie dann wieder verkehrtherum zu stapeln.
Nach Ablauf der nächsten ganzen Minute leitete er jeweils durch kurzen Druck auf den grünen Impulsknopf die nächste Meßperiode ein. Gemeinsam mit dem 2. Helfer führte er außerdem Protokoll über zeitlichen Ablauf, Anzahl der anwesenden Personen und alle wesentlichen Vorkommnisse in den jeweili-

gen Meßintervallen. Dies war die Hauptaufgabe des 2. Helfers, der sich ansonsten noch um die Bereitstellung der benötigten Petrischalen zu kümmern hatte.
Nach Abschluß der Messungen transportierte ich die Petrischalen so schnell wie möglich, um Verfälschungen durch Sekundärkontamination oder Absterben zu vermeiden, ins Hygieneinstitut, wo ich die Blutagarböden 48 Stunden bei 37°C (zur Annäherung an Wundverhältnisse) und die Sabouraud-Nährböden 5 Tage lang bei 22°C immer aerob bebrüten ließ.

Abb. 17a

Abb. 17b

Abb. 17a + b: Beispiele aus dem LAF-OP

Abb. 18a

Abb. 18b

Abb. 18c

Abb. 18a - c: Beispiele aus dem konventionellen OP

Die Ergebnisse der Leerversuche und der Messungen während der Operation hielt ich als erstes auf Photos fest, bevor ich mit der weiteren Auswertung in Form von Auszählung und Differenzierung der Kolonien begann.
Einige dieser Bilder aus dem Untersuchungsmaterial beider OP's möchte ich, dem rein zahlenmäßigen Vergleich vorausgehend, einander gegenüberstellen. (Siehe Photos auf S. 45/46!)

5.5.3 Versuchsergebnisse

5.5.3.1 Keimzahlbestimmung

Die mikrobiologische Auswertung meiner Untersuchungsbefunde begann, nachdem ich sie zunächst auf Photos festgehalten hatte, mit der Auszählung der koloniebildenden Einheiten auf den verwendeten Nährböden. Die Umrechnung dieser Werte auf die Keimzahl pro m^3 gestaltete sich recht einfach, da mit 3 Filtern in 5 Minuten eine abgesaugte Luftmenge von 333 1/3 l untersucht wurde. Die Summe der auf den 3 Nährböden einer Meßperiode gewachsenen Keimpopulationen mußte also nur mit 3 multipliziert werden, um das Ergebnis in K/m^3 wiederzugeben.
Wie das solchermaßen ermittelte Resultat in den beiden OP's aussah, zeigen die Tabellen und Balkendiagramme auf den folgenden Seiten. Darin sind auch alle Vorkommnisse während der einzelnen Meßperioden aufgeführt, die in irgendeiner Weise den Keimpegel beeinflußt haben könnten, ebenso wie die Zahl der während dieser Zeit im Operationssaal anwesenden Personen.
Die Form des Balkendiagramms ist hier aus dem Grund am günstigsten, weil Spitzenwerte, die für die Entstehung von Infektionen entscheidend sind, sofort ablesbar sind.

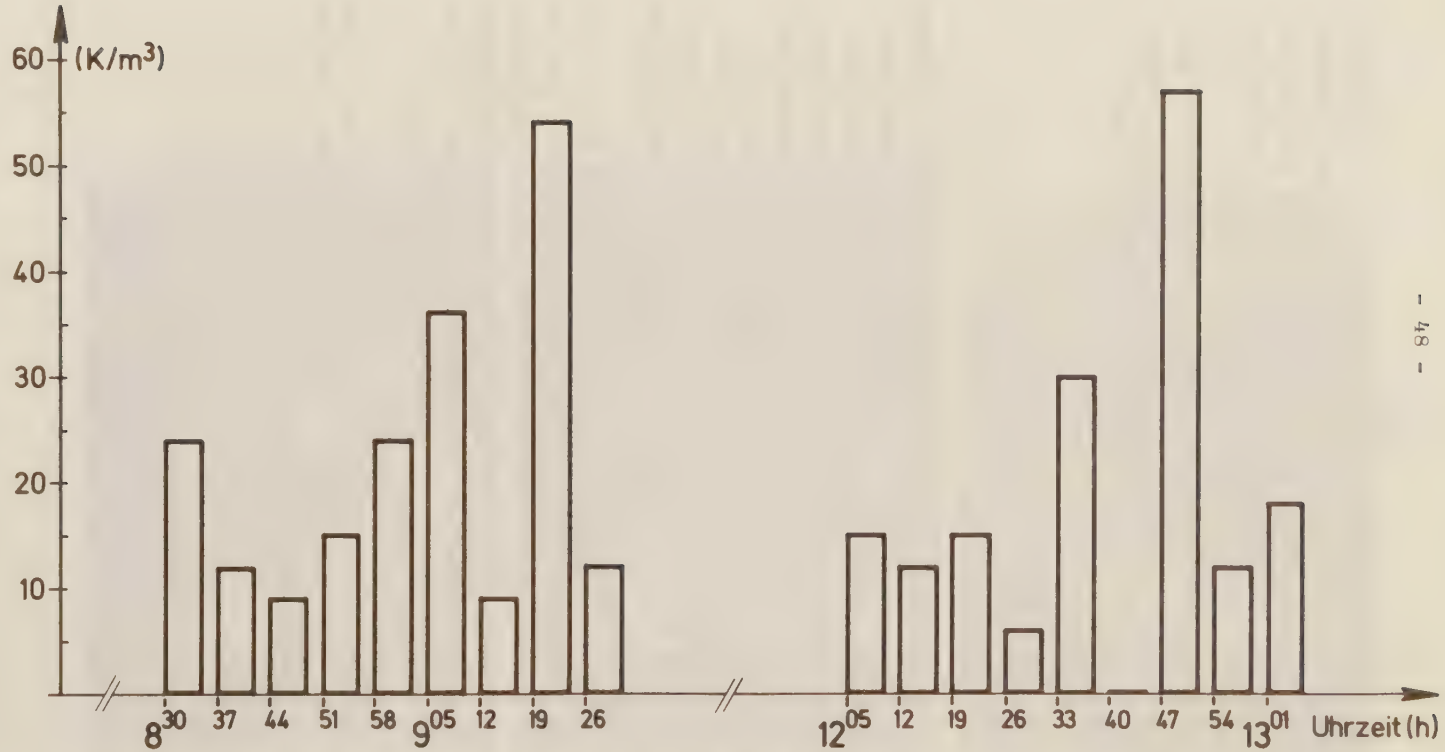


Abb. 19: KEIMZAHLVERLAUF BEI 2 TEP's IM LAF-OP

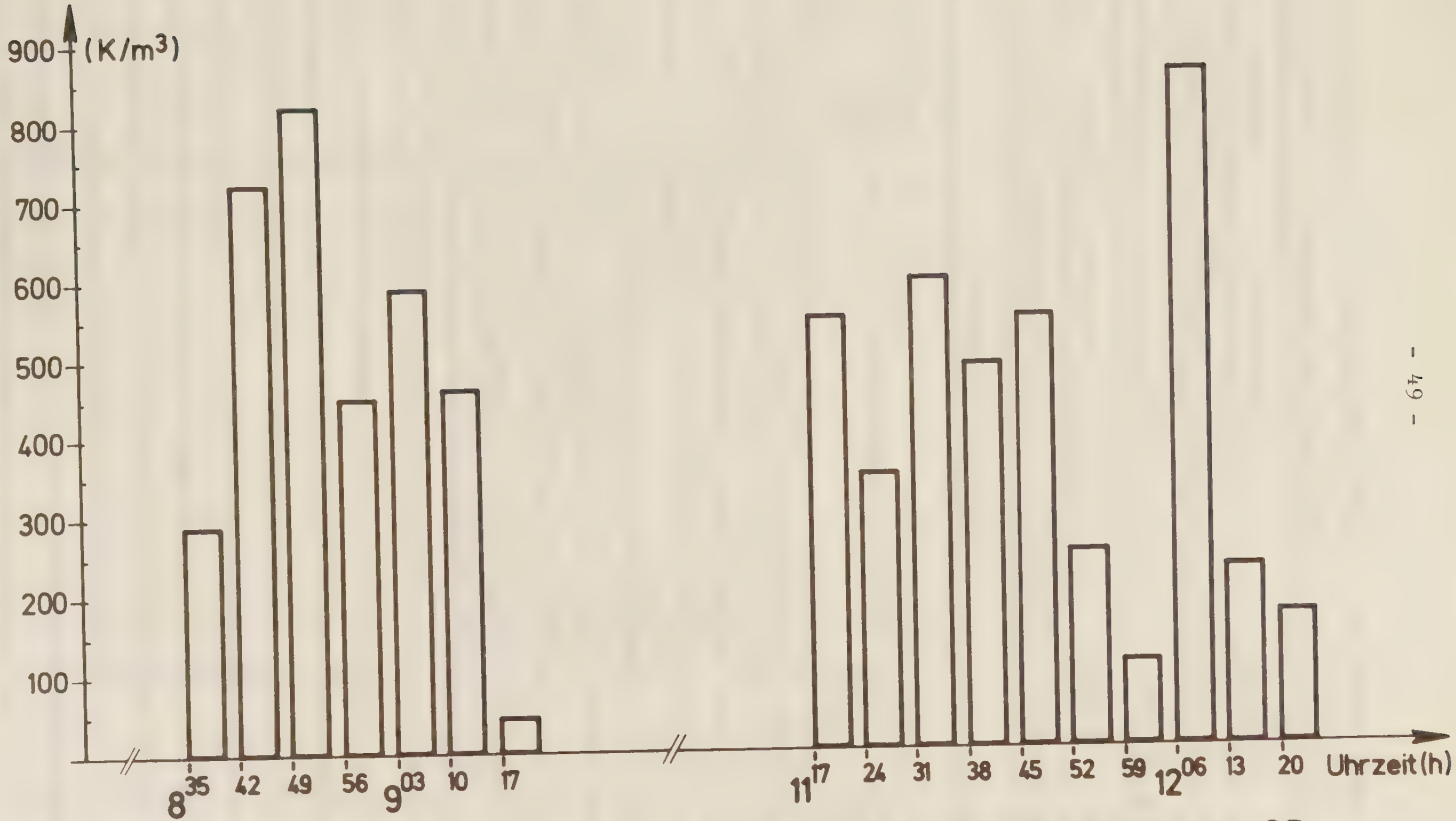


Abb. 20: KEIMZAHLVERLAUF BEI 2 VARISIERUNGEN IM KONVENTIONELLEN OP

DGOT - Arbeitskreis LAF und Krankenhaushygiene | Formular 1

Meßprotokoll für Luftkeimzahl - Bestimmungen | Blatt

Datum	20.01.78	Operateur	Spranger
Klinik	König-Ludwig-Haus Orthop.Uniklinik Würzburg	1. Assistent	Weidenauer
OP - Raum	LAF-Tunnel	2. Assistent	MA Schmelzer
Eingriff	TEP Links	3. Assistent	Reiche
Patient/Alter/oo	Blank Alois (63)	Instrumentenschw.	S. Helga
Code		Zudienschw.	

Probe-nahme	Nähr-boden	t_o	Anzahl Pers.	OP - Leerlauf Besondere Vorkommnisse	F_1	F_2	F_3	Summe/ Keim-arten (Sa)	K/m^3 (= Sa x 3)
1.	Blut	8.30	7	Koagulieren	2	1	5	8 (S,C)	24
2.	"	8.37	8	Sägen,Hämmern,Meißeln	2	0	2	4 (S)	12
3.	"	8.44	8	Kapsel entfernt, Pfanne ausgepreßt	1	1	1	3 (S)	9
4.	"	8.51	8	Bohren	1	2	2	5 (S)	15
5.	"	8.58	8	Probesitz d. Prothese,Beine bewegt, Handschuhwechs.	2	3	3	8 (S,C)	24
6.	"	9.05	9	Umlagerung, Pfanne einges. Probesitz d. Schaftproth.	5	4	3	12 (S,C)	36
7.	"	9.12	8	Sägen,Meißeln	0	2	1	3 (S)	9
8.	"	9.19	8	Spülen, Licht einstellen, Kopf in Pfanne gesetzt	8	1	9	18 (S,C)	54
9.	"	9.26	8	Nähen	0	1	3	4 (S)	12
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									

DGOT - Arbeitskreis LAF und Krankenhaushygiene | Formular 1

Meßprotokoll für Luftkeimzahl - Bestimmungen | Blatt

Datum	20.01.78	Operateur	Spranger
Klinik	König-Ludwig-Haus Orthop.Uniklinik Würzburg	1. Assistent	Weidenauer
OP - Raum	LAF-Tunnel	2. Assistent	MA Schmelzer
Eingriff	TEP Links	3. Assistent	Reiche
Patient/Alter/oo	Enke Johannes (74)	Instrumentenschw.	S. Helga
Code		Zudienschw.	

Probe-nahme	Nähr-boden	t_o	Anzahl Pers.	OP - Leerlauf Besondere Vorkommnisse	F_1	F_2	F_3	Summe/ Keim-arten (Sa)	K/m^3 (= Sa x 3)
1.	Blut	12^{05}	8	Hautschnitt, Koagulieren Licht einstellen	1	2	2	5 (S)	15
2.	"	12^{12}	8	Meißeln, Bohren	0	3	1	4 (S)	12
3.	"	12^{19}	9	Kopf entfernt, Bein bewegt Kapsel reseziert	2	1	2	5 (S)	15
4.	"	12^{26}	8	Sägen, Bohren	2	0	0	2 (S)	6
5.	"	12^{33}	9	Bohren, Probesitz der Schaftprothese	2	4	4	10 (S,C)	30
6.	"	12^{40}	9	Ruhe, Überprüfen des Pfannensitzes	0	0	0	0	0
7.	"	12^{47}	9	Bohren, Prothese implantieren, Bein umlagern	8	4	7	19 (S,C)	57
8.	"	12^{54}	8	Spülung, Beginn des Nähens	2	2	0	4 (S)	12
9.	"	13^{01}	8	Subcutan- und Hautnaht	3	1	2	6 (S)	18
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									

DGOT - Arbeitskreis LAF und Krankenhaushygiene | Formular 1

Meßprotokoll für Luftkeimzahl - Bestimmungen | Blatt

Datum	25.01.1978	Operateur	Huke
Klinik	König-Ludwig-Haus Orthop.Uniklinik Würzburg	1. Assistent	Reißmann
OP - Raum	nach DIN 1946/4	2. Assistent	Geißler
Eingriff	Varisierung links	3. Assistent	Reiche
Patient/Alter/oo	Busch Kerstin (3 J)	Instrumentenschw.	S. Helga
Code		Zudienschw.	

Probe-nahme	Nähr-boden	t_o	Anzahl - Pers.	OP - Leerlauf Besondere Vorkommnisse	F_1	F_2	F_3	Summe/ Keim-arten (Sa)	K/m^3 (= Sa x 3)
1.	Blut	8^{35}		Koagulieren	19	26	52	97	291
2.	"	8^{42}		Viel Sprechen, Nageln	63	87	92	242	726
3.	"	8^{49}		Sägen, Sprechen, Hämmern	114	92	69	275	825
4.	"	8^{56}		Röntgen, Bohren	52	48	51	151	453
5.	"	9^{03}		Sägen, Sprechen, Spülung	57	88	52	197	591
6.	"	9^{10}		Röntgen, Nähen	37	50	68	155	465
7.	"	9^{17}		Drainage, Nähen	9	1	5	15	45
8.									
9.									
10.									
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									

DGOT - Arbeitskreis LAF und Krankenhaushygiene | Formular 1

Meßprotokoll für Luftkeimzahl - Bestimmungen | Blatt

Datum	25.1.1978	Operateur	Huke
Klinik	König-Ludwig-Haus Orthop.Uniklinik Würzburg	1. Assistent	Reißmann
OP - Raum nach DIN 1946/4		2. Assistent	Geißler
Eingriff	Varisierung rechts	3. Assistent	Reiche
Patient/Alter/oo	Brussig Julia (5 J.)	Instrumentenschw.	S. Helga
Code		Zudienschw.	

Probe-nahme	Nähr-boden	t_o	Anzahl - Pers.	OP - Leerlauf Besondere Vorkommnisse	F_1	F_2	F_3	Summe/ Keim-arten (Sa)	K/m^3 (= Sa x 3)
1.	Blut	11^{17}		Hautschnitt, Koagulieren	117	44	31	192	576
2.	"	11^{24}		Sprechen, Meißeln	21	33	47	101	303
3.	"	11^{31}		Einschlagen von Loch in Corticalis	61	53	86	200	600
4.	"	11^{38}		Viel Sprechen, Sägen	62	43	58	163	489
5.	"	11^{45}		Hämmern	81	57	54	192	576
6.	"	11^{52}		Sprechen, Spülung	39	28	18	83	249
7.	"	11^{59}		Bohren, Röntgen	10	17	10	37	111
8.	"	12^{06}		Röntgenbild besprechen	61	111	114	286	858
9.	"	12^{13}		Bohren, Schrauben, Redon-Drainage	20	28	28	76	228
10.	"	12^{20}		Nähen	23	17	17	57	171
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									

5.5.3.2 Differenzierung der Mikroorganismen

Um das Ergebnis auch nach dem Anteil der in den beiden OP's vorkommenden Keimarten aufschlüsseln zu können und dadurch Hinweise auf das Infektionsrisiko zu erhalten, schloß ich der Auszählung die Methoden zur Differenzierung an, die ich bereits bei den Versuchen mit Sedimentationsplatte beschrieben habe.
Nach einer groben Selektierung unter Einbeziehung von Farbe, Größe, Wachstumsform, Gramverhalten sowie mikroskopischen Befund führte ich, je nach Ergebnis dieser ersten Tests, weitere differenzierendere Untersuchungen durch:
Bei Staphylokokkennachweis Pathogenitätsprüfung (z.B. Koagulase), bei gramnegativen Bakterien (besonders Stäbchen) zunächst Überimpfung auf Hugh-Leifson-Agar.
Wenn sich dort zeigte, daß es sich um alkalisierende Keime handelte, setzte ich eine Bunte Reihe an, weil dadurch ein Hinweis auf Enterobakterien gegeben war.
Neben Staphylokokken, vereinzelt auftretenden Corynebakterien und den nur im konventionell belüfteten OP gefundenen aeroben Sporenbildnern konnte ich, ebenfalls nur in diesem OP, eine Gruppe von gramnegativen Keimen nachweisen, die ich mit Hilfe einer Bunten Reihe untersuchte, weil sie auf Hugh-Leifson-Agar Alkalisierung zeigten. Dabei ergab sich bei den getesteten Kolonien folgendes übereinstimmendes Resultat:

Glucosefermentation		Positiv, keine Gasentwicklung
Kligler	Glucose	Positiv
	Lactose	Negativ
	H_2S	Negativ
Indolbildung		Negativ
Simoncitrat		Positiv
Harnstoff		Positiv
Rhamnose		Positiv
Phenylalanin		Negativ
Ornithin		Positiv
Beweglichkeit		Positiv

Dieses Ergebnis spricht mit größter Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Enterobacter cloacae, in geringem Maße auch für

die eng verwandten Enterobacter aerogenes oder hafniae.

Aufgeschlüsselt nach dem Anteil der gefundenen Keimarten, sieht das zahlenmäßige Gesamtergebnis folgendermaßen aus (konventioneller OP):

Abkürzungen: E = Enterobacter
S = Staphylokokken
C = Corynebacterien
A = Aerobe Sporenbildner

1) Varisierung links

Keime gesamt	(K/m^3)	(E/m^3)	(S/m^3)	(C/m^3)	(A/m^3)
a)	19/26/52 291	0/10/4 42	8/4/8 60	1/2/6 27	10/10/34 162
b)	63/87/92 726	11/8/5 72	1/6/8 45	2/2/3 21	49/71/76 588
c)	114/92/69 825	21/11/9 123	4/4/5 39	1/2/0 9	88/75/55 654
d)	52/48/51 453	4/8/23 105	3/4/4 33	0/2/1 9	45/34/23 306
e)	57/88/52 591	12/11/8 93	8/3/6 51	2/1/2 15	35/73/36 432
f)	37/50/68 465	3/11/7 63	9/10/5 72	4/3/2 27	21/26/54 303
g)	9/1/5 45	1/0/0 3	7/1/3 33	0/0/0 0	1/0/2 9

2) Varisierung rechts

Keime gesamt	(K/m^3)	(E/m^3)	(S/m^3)	(C/m^3)	(A/m^3)
a)	117/44/31 576	14/4/4 66	15/5/1 63	7/4/2 39	81/31/24 408
b)	21/33/47 303	0/3/1 12	6/3/12 63	0/0/1 3	15/27/33 225
c)	61/53/86 600	13/9/6 84	1/3/6 30	1/2/5 24	46/39/69 462
d)	62/43/58 489	6/2/13 63	10/7/4 63	1/2/0 9	45/32/41 354
e)	81/57/54 576	12/6/5 69	9/4/6 57	1/1/1 9	59/46/42 441
f)	39/28/18 249	4/3/3 30	4/2/3 27	0/1/1 6	31/22/11 192
g)	10/17/10 111	1/2/1 12	1/4/3 24	0/0/0 0	8/11/6 75
h)	61/111/114 858	7/19/12 114	12/7/2 63	0/0/0 0	42/85/100 681
i)	20/28/28 228	0/5/0 15	8/7/12 81	1/0/1 6	11/16/15 126
k)	23/17/17 171	0/3/0 9	18/5/12 105	1/0/2 9	4/9/3 48

Aufrechenfaktor: $(K_1 + K_2 + K_3) \times 3 = (K/m^3)$

5.5.3.3 Beurteilung der nachgewiesenen Keimarten im Hinblick auf die Entstehung von Wundinfektionen

1) STAPHYLOKOKKEN können nach OSTERTAG (23) auch dann Wundheilungsstörungen und Infektionen verursachen, wenn keine Pathogenitätszeichen im Sinne von Hämolyse, Toxinbildung und Enzymbesetzung (Koagulase u.a.) vorliegen. Die wirklich "pathogenen" Staphylokokken wurden in unserem Kollektiv selten gefunden.

2) ENTEROBAKTERIEN jeglicher Art sind stets ein eindeutiger Hinweis auf mangelnde Desinfektion und Antisepsis.
Wenn auch die im konventionell belüfteten OP gefundenen Vertreter dieser Gattung im Gegensatz zu ihren bekannteren und gefürchteten Artgenossen nur sehr fakultativ pathogen sind, sollten sie doch in einem aseptischen OP keinesfalls anzutreffen sein.

3) AEROBE SPORENBILDNER (z.B. Bacillus subtilis) werden in ihrer Bedeutung auch heute noch meist unterschätzt, obwohl sie schon 1932 von KNORR als Verursacher von Wundheilungsstörungen beschrieben wurden, vor allem in den Bereichen mit den höchsten Anforderungen an die Aseptik, nämlich Transplantations- und Implantatchirurgie sowie Knochen- und Gelenkchirurgie, d.h. auch besonders in der Orthopädie.
Zusätzliche Bedeutung gewinnt die hohe Konzentration an aeroben Sporenbildnern dadurch, daß ihr Auftreten auf verstaubte Klimaanlagen mit zumindest ungenügender oder gar fehlender Luftfiltration hinweist. Man muß dann sogar mit der Anwesenheit von großen Anaerobiern (z.B. Clostridien) rechnen. Bei diesen reicht es nicht aus, Grenzkeimzahlen festzulegen, da schon einige wenige dieser Erreger genügen, um Infektionen hervorzurufen.

Der quantitativen Messung sollte also in jedem Fall eine qualitative Analyse folgen.

6. VERGLEICH MEINER ERGEBNISSE MIT DENEN ANDERER UNTERSUCHER

Bevor ich auf die Resultate anderer Autoren eingehe, möchte ich die meinigen nochmals kurz darstellen:

Konventioneller OP:

Varisierung I im Mittel 485 K/m^3, max.825, min 45
Varisierung II im Mittel 416 K/m^3, max.858, min 111

Horizontal-LAF-OP:

TEP I im Mittel 21,6 K/m^3, max.54, min 9 K/m^3
TEP II im Mittel 23,5 K/m^3, max.57, min 0 K/m^3

Dies ergibt in der Relation beider OP's zueinander folgendes Bild: LAF : Konv. = 45 : 901 = 1 : 20

6.1 Vergleich mit Untersuchungen unter ähnlichen Versuchsbedingungen

Der Arbeitskreis für Krankenhaushygiene führte in 19 orthopädischen und traumatologischen Kliniken 3 000 Einzelmessungen in 29 Operationsräumen mit 6 verschiedenen Gruppen von Klimaanlagen durch. Die Resultate lassen sich mit den meinigen deshalb nahezu optimal vergleichen, weil das gleiche Meßverfahren angewendet wurde.

Technische Ausführung der untersuchten Klimaanlagen:

1) Räume ohne raumlufttechnische Anlagen (Fensterlüftung)
2) Turbulenzreiche Verdünnungslüftung nach DIN 1946/Bl. 4 mit HOSCH-Filtern
3) Wie 2), aber zusätzlich erhöhter Luftwechsel und stabilisierte Strömung (durch Alleander- oder Weiss-Decke) oder zusätzliche Quellauslässe
4) Räume mit KEIMSTOP-Membranen nach MEIERHANS und WEBER (wie bei 2), aber durch Membran Auftrennung in hygienisch bevorzugten OP-Teil und weniger bevorzugten Anästhesie-

teil), Zuluft nur in die sterile Seite, Wegdrücken zur Anästhesie, wo sich auch die Fortluftgitter befinden

5) LAF-Anlagen mit horizontaler Verdrängungsströmung (Ganzraum- oder Tunnelform)

6) LAF-Anlagen mit vertikaler Verdrängungsströmung (nach dem Modell der sterilen OP-Box von WEBER/ MEIERHANS/STÜHMER)

Für die einzelnen Gruppen ergab sich folgendes Urteil bezüglich ihrer Verwendbarkeit im Operationssaal: (21)

1) Die unklimatisierten Räume sind für hygienisch einwandfreies Operieren in keinem Fall geeignet.
Zwar ergaben sich große Schwankungen infolge unterschiedlicher Raumgröße und -belüftbarkeit, doch lagen die Werte dabei zwischen 1000 und 2500 K/m^3, so daß sie in keinem Fall den Mindestanforderungen genügen.

2) Die nach der alten DIN-Norm von 1964 belüfteten Räume sind dann nicht geeignet, wenn endoprothetische, große osteosynthetische oder große Gelenk- und Knocheneingriffe darin durchgeführt werden sollen.
Die gemessenen Keimzahlen schwanken hier nämlich zwischen 141 und 242 K/m^3 (Mittelwerte), lagen also klar über dem von GALSON (9) geforderten Standard für hohe und besonders hohe Ansprüche an die Sterilität (35 - 70 K/m^3!).

3) Die verbesserten Anlagen nach DIN 1946 verfehlten diesen Standard ebenfalls, wenn auch nur knapp, mit Werten von 66 - 87 K/m^3.

4) Das KEIMSTOP-System bietet mit 16 - 17 K/m^3 bereits ein ausreichendes, mit zusätzlicher Atemluftabsaugung und 9 - 11 K/m^3 ein hohes Maß an Sicherheit; ein Ergebnis, das es den aufwendigeren LAF-Anlagen ebenbürtig macht.
Somit ist dieses Verfahren eine preisgünstige Alternative, vor allem, weil es an vorhandene konventionelle Anlagen nachträglich angeschlossen werden kann. Aus diesem Grund gewinnt es heute auch immer mehr an Bedeutung.

5) Die Anlagen mit horizontalem Laminar-Air-Flow kamen ohne Atemluftabsaugung nicht unter 17 - 23 K/m^3, mit dieser Zusatzeinrichtung jedoch auf 0 - 1 K/m^3, so daß deren Verwendung hier sehr empfohlen wird.

6) Als optimal zur Verminderung der aerogenen Kontamination erwiesen sich die vertikalen Verdrängungssysteme mit jederzeit erreichbaren Werten von 0 - 1 K/m^3.

Vergleicht man die beiden von mir untersuchten Klimaanlagen mit der zugehörigen obengenannten Gruppe, so stellt man fest, daß die Laminar-Air-Flow-Anlage das Niveau der getesteten Horizontalstromsysteme erreicht, während die Durchschnittskeimzahl, die ich im Raum mit der DIN-Norm-Belüftung ermittelte, über dem Standard der entsprechend ausgerüsteten OP's lag. So ist auch der Leistungsunterschied zwischen herkömmlicher und moderner Klimaanlage bei meinen Messungen wesentlich gravierender als bei den oben beschriebenen.

6.2 Vergleich mit Ergebnissen weiterer Autoren

Zur Gegenüberstellung meiner Ergebnisse mit denen früherer Arbeiten möchte ich zunächst, der Übersichtlichkeit wegen, die Relation der jeweils in den verschiedenen OP's ermittelten Keimzahlen zueinander heranziehen.
Zum Vergleich:
Aus meinen Meßwerten resultierte für LAF : konventionell ein Verhältnis von 1 : 20 .

CHARNLEY	(1964)	0,36 : 3 : 9
WHITCOMB	(1966)	0,5 : 14,4
WEBER	(1971)	0,7 : 125
PEIPER/SATTEL	(1974)	1,4 - 2 : 600
WEIDMANN	(1975)	1 : 100
DEDERICH	(1976)	0,2 : 8 : 100
HELL et al.	(1976)	1 : 10-20 (K/h, nicht /m^3)
BOTZENHART	(1978)	(0,2-11,8) : (75-131)
HAHN et al.	(1978)	1 : 10 : 300

KNAPP	(1978)	1 : 100
ROGGE	(1978)	3 : 137
ZÄNGL	(1978)	1 - 4 : (40-80)
ZICHNER	(1978)	0,082 : 234

Die Ergebnisse aller Autoren sprechen somit für eine deutlich höhere Effizienz des Laminar-Air-Flow-Systems, wenn auch die Relationen mit Werten zwischen 1 : 10 und 1 : 300 untereinander noch stark differieren.

Ähnlich fielen Untersuchungen bezüglich der Wundkontamination aus:

NELSON	(1972)	4,4 : 22	/ Reduktion 80 %
STEIN	(1973)	7 : 11	/ Reduktion 36,3 %
SCHREIBER	(1973)	5,5 : 50	/ Reduktion 89 %
FRENCH	(1974)	6,6 : 22	/ Reduktion 70 %
SAMIMI	(1974)	14,5 : 28,5	/ Reduktion 49,1 %
BOTZENHART	(1978)	31 : 50	/ Reduktion 38 %
KNAPP	(1978)	23 : 41	/ Reduktion 43,9 %

Auch diese Reduktionsraten zwischen 36,3 und 89 % sprechen für eine signifikant höhere Wirksamkeit der modernen Klimaanlagen.

6.3 Stellungnahme dieser und anderer Autoren zum Laminar-Air-Flow bei seiner Anwendung im OP

HAHN (12) beurteilte den Laminar-Air-Flow als ein Mittel unter vielen anderen bei der Verhinderung postoperativer Wundheilungsstörungen. Alle Mittel sind dabei gleichrangig und gleich wichtig. Nur ultrasterile Operationstechnik in einer sterilen OP-Boxe ermöglicht seiner Meinung nach deren optimale Wirksamkeit.
ZÄNGL (38) zeigt auf, wie wichtig diszipliniertes Verhalten im Operationssaal für das Infektionsrisiko sein kann.

Der Beweis dafür ergibt sich aus dem Anstieg der Luftkeimzahl von 20 auf 760 K/m^3 in der Phase der hektischen Auf-

räumarbeiten nach Beendigung der Operationstätigkeit. Im Gegensatz dazu lag die Keimkonzentration bei der routinemäßig durchgeführten Nachmittagsreinigung bei etwa 300 K/m^3.

WEIDMANN (36) erkannte bei den Keimzahl- und Partikelmessungen, die er in verschieden belüfteten OP's durchführte, daß an 1 Partikel jeweils 4 Keime gebunden waren. Die Größe der keimbeladenen Partikel lag dann z.B. bei Staphylokokken bei 13 Mikron. Nach dieser Dimension muß man sich richten, wenn es um die notwendige Porengröße der verwendeten Filteranlage geht. Die gemessenen Keimkonzentrationen lagen im konventionellen OP im Leerzustand mit 58 - 107 K/m^3 klar über den von WANNER (34) geforderten 10 - 20 und während der Operation mit 78 - 144 K/m^3 stets über dem von GALSON (9) aufgestellten Standard von 35 - 70 K/m^3. Dabei war es gleichgültig, ob mit oder ohne Helmen mit Atemluftabsaugung operiert wurde: die Kontamination der Wunde betrug jeweils 10 %, so daß sich hieraus keine Indikation zur Einführung dieser doch recht aufwendigen Methode ableiten läßt.
DEDERICH (7) stellte eine Zunahme der Keimbeladung der Luft im Verlaufe eines OP-Tages bei herkömmlicher Belüftung fest, während sie im Laminar-Air-Flow nahezu konstant blieb - ein deutliches Zeichen für die Leistungsfähigkeit des Systems. Auch die Zahl der anwesenden Personen hatte im LAF-OP keinen so großen Einfluß auf die Konzentration der Mikroben. Die größte Gefahr in diesem Raum stellen nach Ansicht des Autors neue Mitarbeiter dar, die sich erst an das spezifische Verhalten im Reinraum anpassen müssen.
BOTZENHART (3) verglich einen mit LAF-Technik belüfteten Raum mit relativ hoher Personenfluktuation mit 2 konventionellen, von denen der eine ungefähr genauso viele, der andere nur ein Viertel der Personenbewegungen aufzuweisen hatte. Im LAF-OP nahm die gemessene Keimzahl mit wachsendem Abstand von der Filterwand wie folgt zu:
Wand 0,2 / Tischanfang 5,0 / Tischende 11,8 / Abluft 78,9
Daß der Unterschied zu den herkömmlich belüfteten Räumen, wo 75 - 131 K/m^3 gezählt wurden, nicht so deutlich ist wie bei Arbeiten anderer, dürfte größtenteils dem zu hohen Per-

sonenverkehr zuzuschreiben sein. Dieser wäre zunächst einzuschränken, um zusammen mit einer verbesserten Abdeckung die Vorzüge der LAF-Technik optimal nutzbar zu machen. Die Zahl kontaminierter Wunden sowie unsteriler Sedimentationsplatten lag bereits in diesem untersuchten modernen OP deutlich niedriger als in den beiden Sälen mit DIN-Norm-Belüftung.

ZICHNER (39) fand im LAF-OP nur 4 Kolonien in 48 875 l (0,082 K/m^3) bei einer Meßdauer von 1955 min, im konventionell ausgerüsteten Raum dagegen 3456 Kolonien in 14 750 l Luft (234 K/m^3) in einem Zeitraum von nur 590 min. Bei den in der Sterilbox gefundenen Bakterien handelte es sich ausnahmslos um apathogene Staphylokokken vom Typ S.albus, im herkömmlichen OP fanden sich außerdem noch Staphylococcus aureus und grampositive Sporenbildner (Subtilis). ZICHNER sieht die Möglichkeit, durch die Sterilbox die Infektionsrate von derzeit noch 4 - 5 % auf etwa 1 % zu senken.

KNAPP (18) fand bei 80 % der untersuchten Patienten einen positiven Hautabklatsch, bei 7 % war der Wundabstrich positiv. Die nachgewiesenen Keime entsprachen bei 5 % denen der Umgebung, was auf eine Selbstinfektion schließen läßt. Durch bessere Abdeckung wäre diese Komplikation weitgehend zu vermeiden.

ROGGE (25) kommt zum nahezu gleichen Resultat: Seine Auswertung von Hautabstrichen ergab, daß es sich vorwiegend um Hautkeime wie Staphylococcus epidermidis handelte, dazu noch Entero- und Mikrokokken sowie Diphteroide. Er kommt deshalb zu dem Schluß, daß man die Wirksamkeit des Laminar-Air-Flow nicht überschützen, sondern eher mit doppelter Sorgfalt arbeiten sollte. Besonders gewebsschonendes und diszipliniertes Operieren ist gerade wegen der speziellen Technik des LAF nötig, um seine Vorzüge optimal zu nutzen.

Nach BOTZENHART und RÜDEN (4) kommt nur ein sehr kleiner Anteil der Keime aus Klimaanlagen in die OP-Luft (in Ruhe wesentlich geringere Anzahl K/m^3 als bei Betrieb). Auch bei Zufuhr keimfreier Luft finden sich noch zahlreiche Mikroben im Raum (von Personen, Kleidung, Geräten oder Wäsche stammend). Die Zahl aerogen bedingter Sekundärheilungen läßt sich

nur bei Unterschreitung der von GALSON und GODDARD geforderten 70 K/m^3 deutlich senken (9).
Nach deren Meinung ist zum Erreichen dieses Keimzahlniveaus ein mindestens 25 - 30facher Luftwechsel pro Stunde nötig.
BOTZENHART und SATTEL (5) fanden, daß durch Verwendung von HOSCH-Filtern und turbulenzarmer Verdrängungsströmung Keimkonzentrationen unter 1/m^3 erreicht werden können. Von Personen freigesetzte Keime werden dabei auf kürzestem Wege aus dem OP entfernt. Die häufigste Ursache von Wundinfektionen ist ihrer Meinung nach weiterhin die Kontaktinfektion.

KLUGE und SCHUSCHKE stellten bei Versuchen mit Slit Sampler (17) eine Steigerung der Luftkeimkonzentration von relativ günstigen 120 K/m^3 im leeren OP auf 960 K/m^3 während der Betriebszeit fest. Diese Meßwerte überschreiten bei weitem die Grenzen der USA-Norm, die für kleine Operationen 700 K/m^3, für größere 300 K/m^3 und für infektionsgefährdete OP's (Gelenk-OP, Einbringen von alloplastischem Material) 70 K/m^3 maximal zuläßt.
Die letztgenannte Schwelle ist nach Ansicht der Autoren nur mit Hilfe des Laminar-Air-Flow zu unterschreiten.
Bei Versuchen mit Sedimentationsplatten wurden 1 - 70 KbE/ 63,6 cm^2 gefunden. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Sarcinen und grampositive Kokken, selten waren auch grampositive Stäbchen, vereinzelt aerobe Sporenbildner und gramnegative Keime anzutreffen. Nach KLUGE und SCHUSCHKE hängt das Ausmaß der Sedimentation mehr von der Zahl der im Raum anwesenden Personen als von der Art der Arbeitsgänge ab, die darin verrichtet werden.
CHARNLEY (6) fand in seinem "Greenhouse" mit gefilterter Luft noch 1,1 % Infekte nach Einbau von Totalendoprothesen, im herkömmlichen OP waren es zuvor noch 9,5 %. In diesem kam es auch in 6,3 % der Fälle zu tiefen Wundinfektionen, im neuen OP war nur eine Spätinfektion (nach 10 Monaten) zu verzeichnen.

Bei gleicher Luft in OP-Kabine und Umgebung traten innerhalb 3,7 %, außerhalb 3,2 % postoperative Infekte auf; bei 1 : 125 geringerem Luftkeimgehalt innerhalb wurden dort nur noch 1,1 % Infekte registriert.

RUSSENBERGER und WANNER (26) fanden im konventionell belüfteten OP bei Steigerung der Luftwechselrate eine stetige Senkung der Luftkeimzahl. Im Laminar-Air-Flow, bei mehrhundertfachem Luftwechsel, waren keine Keime mehr nachweisbar.

DUVLIS (8) untersuchte die Luftkeimzahl in Abhängigkeit von der Anzahl der anwesenden Personen, der Luftwechselrate und des Raumvolumens. Dabei war bis zu einer Steigerung auf 12 Luftwechsel pro Stunde eine deutliche, bei weiterer Steigerung nur noch eine geringfügige Abnahme der Luftkeimkonzentration zu verzeichnen. Bei Verdopplung der Zahl der anwesenden Personen wäre mehr als das doppelte Raumvolumen nötig, um den Keimgehalt der Luft auf gleichem Niveau zu halten.

BÖHLER (1) beschreibt, daß im herkömmlichen OP die Keime durch zahlreiche Turbulenzen weit im Raum verstreut werden, was durch eine gerichtete Strömung verhindert werden kann (nur geringfügige Turbulenzen hinter Strömungshindernissen, rascher Abtransport der Keime). Beim Vergleich beider Varianten des Laminar-Air-Flow kommt es bei horizontal gerichteter Strömung häufiger zu Turbulenzen, die Disziplin des Teams ist in beiden OP's wegen der Möglichkeit der Keimsedimentation in die Wunde von entscheidender Bedeutung. Der Vorteil des horizontalen Flows liegt besonders darin, daß herkömmliche technische Einrichtungen im OP weiter verwendet werden können. Wenngleich nach amerikanischen Untersuchungen die bessere Wirksamkeit einer LAF-Anlage gegenüber herkömmlichen Systemen noch nicht gesichert ist, empfiehlt BÖHLER, insbesondere in der Implantat- und Transplantationschirurgie alle Möglichkeiten zur Senkung des Infektionsrisikos zu nutzen, einschließlich des Laminar-Air-Flow.
Nach SEYFFARTH (32) kommen Reinraumanlagen nur für Großkliniken in Frage, weil sie erstens zu aufwendig und kostspielig sind und zweitens die aerogene Infektion keine so entscheidende Rolle spielt. Bei seinen Untersuchungen traten im rein aseptischen OP 7,8 %, im bedingt aseptischen OP 10,4 % postoperative Infekte auf. Er legt das Hauptgewicht mehr auf die Disziplin des OP-Teams, durch deren Verbesserung eine Senkung der Infektrate auf 4 - 5 % erreichbar sein soll.

PEIPER et al. (24) stellten nach dem Einbau einer LAF-Anlage (horizontal flow) eine hundertfache Verringerung der Luftkeimzahl fest, dabei kam es nur in 4 % zu kontaminierten Wunden (entsprechend den Ergebnissen gleichartiger Untersuchungen). Im konventionellen OP lag die Kontaminationsrate dagegen bei 22 - 50 %. In der OP-Luft wurden im herkömmlichen OP 3,5 Millionen Partikel/m^3 gefunden, im LAF-OP weniger als 3500 P/m^3. Entsprechend lag der Keimgehalt im konventionellen OP bei Werten bis 600 K/m^3, im LAF-OP wurden nur 1,4 - 2 K/m^3 gezählt. Sofort nach Abstellen der Klimaanlage wurde das Keimniveau des konventionellen OP erreicht. Nach diesen Untersuchungen befürwortet PEIPER den Einbau einer LAF-Anlage in OP's mit hohen Ansprüchen an die Sterilität. Die größtmögliche Senkung des Infektionsrisikos ist seiner Meinung nach durch Kombination von Reinraum, ausgefeilter Operationstechnik und unterstützenden Einsatz von Antibiotika erreichbar.

SATTEL (28, 29) gibt beim Vergleich beider Varianten des Laminar-Air-Flow dem Querstrom-OP den Vorzug, da die konventionelle technische Einrichtung weiter verwendet werden kann und er, insbesondere wegen der größeren Bewegungsfreiheit des OP-Teams für ein breiteres Operationsspektrum geeignet ist.

Nach SCHEIBE (30) sind die Sterilboxen mit Vertikal-Flow bisher zu eng, die unsterilen Wände können leicht berührt werden, außerdem muß z.B. zweigeteilt an die OP-Seite herangeführt werden. Kleine Krankenhäuser können solche, nur zu 50 % nutzbare OP's nicht zusätzlich einrichten. Bei der in Feuerbach eingebauten Kombinationskabine mit Vertikal-Flow ist das Öffnen von Kopf- und Fußwand möglich, so daß die Länge eines konventionellen OP's voll genutzt werden kann. Die Verwendung von Decken-C-Stativ, mobilem Bildverstärker und Extensionstisch sind möglich. Da in der Kabine trotzdem ein 240-facher Luftwechsel/Stunde erfolgt, kann ein breiteres Operationsspektrum unter hochsterilen Bedingungen durchgeführt werden. Auch Häuser mit zwei Operationssälen können sich mit Hilfe dieser Kombikabine den Einbau einer modernen LAF-Anlage leisten.

WHITCOMB (37) stellte sowohl auf Sedimenttationsplatten als auch mit Hilfe eines Andersen-Samplers eine deutliche Reduktion der Luftkeimkonzentration im Vergleich seines neuen "ultraclean operating room" (mit vertikalem laminar flow) mit einem herkömmlich belüfteten OP fest. Bei Sedimentation ergaben sich im LAF-OP 0 K/m^3, im konventiellen 9 - 12 K/m^3, bei den Messungen mit dem Andersen-Sampler waren es 0,5 bzw. 14,4 K/m^3.
Er hält den Einbau eines solchen Systems deshalb auf jeden Fall für angezeigt.
Von GREGORY und KOCH (10) fanden eine deutliche Abhängigkeit der Luftkeimzahl von der Anzahl der im Raum anwesenden Personen, daneben weisen sie auf die dringende Notwendigkeit einer leistungsfähigen Klimaanlage hin.
Da besonders bei der horizontal verlaufenden Laminarströmung Instrumente und die Hände der Operateure den Verlauf ungünstig beeinflussen können, betonen PEIPER (24), SCHNITZLER (31) und KAMLAH (15) die Bedeutung einer flowgerechten Stellung von OP-Tisch und Operationsteam.
OSTERTAG (22) nimmt an, daß mit 50 - 200fachem Luftwechsel eine Senkung der Keimkonzentration in der Zuluft auf 0 - 10 K/m^3 erzielt werden kann. Bei ausreichendem Spüleffekt durch eine kolbenförmige Luftströmung bleibt die Keimkonzentration in diesem Bereich; qualitativ wurden von OSTERTAG nur als relativ harmlos empfundene Sarcinen und Sporenbildner gefunden. Problematisch und deshalb stets zu beachten ist seiner Meinung nach die verstärkte Austrocknung der Wunde bei der erhöhten Luftgeschwindigkeit.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßte sich im Rahmen einer Studie des Arbeitskreises LAF und Krankenhaushygiene der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie (Leitung: Prof. Dr. THOMAS, Herten) mit Keimzahlmessungen zum Vergleich der Wirksamkeit von LAF-Systemen mit der herkömmlicher Klimaanlagen, eingebaut in orthopädischen Operationssälen.
Meine Untersuchungen begannen mit einem orientierenden Vergleich der Leistungsfähigkeit beider Systeme zur Filterung der OP-Luft mit Hilfe von Sedimentationsplatten. Dabei wurden Blutagar- und pilzspezifische Nährböden an korrespondierenden Stellen in beiden OP's eine halbe bis zwei Stunden exponiert. Die wichtigsten Fehlerquellen dieser Methode sind hohe Austrocknungsrate und unterschiedliches Sedimentationsvermögen der Keime. Vermutlich aus diesen Gründen ergab sich ein kaum verwertbarer Unterschied: Die Koloniezahlen pro Platte schwankten zwischen 0 und 7 im Laminar-Air-Flow sowie zwischen 0 und 17 im herkömmlichen OP.
Von den aufwendigeren und aussagekräftigeren Methoden erschien diejenige mit Membranfilter wegen der günstigen Handhabung und der ausreichenden Sterilität für die vorgesehene Vergleichsmessung in den OP's verschiedener Klimatisierung am geeignetsten. Die Untersuchungen wurden daraufhin mit einer von MEIERHANS modifizierten Gelatine-Membranfilter-Anordnung durchgeführt. Dabei wurden über 3 Filter 333 1/3 Liter OP-Luft pro Meßperiode à 5 Minuten angesaugt. Daraus ließ sich die Keimzahl pro cbm Luft leicht errechnen.

Zwischen den Meßperioden war nur eine kurze Pause von je 2 Minuten zum Filterwechsel und Beschicken der Nährböden mit den bereits kontaminierten Filtern nötig, so daß eine fast lückenlose Überwachung der Luft über dem Wundfeld im Verlauf einer Operation möglich war.

Die zahlenmäßige Auswertung im Laminar-Air-Flow-Operationssaal während des Einsetzens von Totalendoprothesen eine durchschnittliche Keimkonzentration von 22,5 K/m^3, im konventionell belüfteten OP bei Varisierungen im Vergleich dazu eine durchschnittliche Keimkonzentration von 460 K/m^3, woraus sich ein Verhältnis von 1 : 20 ergibt. Dieses deutlich bessere Abschneiden des LAF-OP's wurde in vergleichbaren Untersuchungen ebenfalls festgestellt.

Bessere Ergebnisse als durch Räume mit horizontalem LAF (wie der untersuchte OP in Würzburg) wurden dabei nur mit anspruchsvollen Vertikal-Flow-Anlagen oder zusätzlichem Einbau einer Keimstop-Membran erreicht.
Die Differenzierung der gefundenen Keime erbrachte im LAF-OP ein klares Übergewicht der Staphylokokken (vor allem epidermidis, grobe Pathogenitätstests negativ), während im konventionellen OP aerobe Sporenbildner (Bacillus subtilis) und gramnegative Stäbchen (Enterobacter cloacae) dominierten.
Beim Nachweis von Sporenbildnern muß auch mit dem Vorkommen von großen Anaerobiern gerechnet werden (Clostridien). Enterobakterien sind ein Zeichen mangelnder Desinfektion und Asepsis. Der von uns gefundene Enterobacter cloacae ist nur fakultativ pathogen.
Die Verlaufsmessung in Intervallen während einer Operation zeigte außer den für den LAF-OP günstigen Vergleichswerten in beiden OP's Keimzahlspitzen auf. Diese waren besonders dann nachweisbar, wenn technische Schwierigkeiten während der Operation viel Bewegung oder Sprechen erforderten.
Hier können Routine und Disziplin eines Teams erst dazu verhelfen, die Wirkung der besseren Klimaanlage optimal zu nutzen. Letztere kann sich sogar ins Gegenteil verkehren, wenn durch zuviel Bewegung im Raum vor dem Wundfeld Turbulenzen entstehen, die durch Wirbelbildung zu zusätzlicher Keimsedimentation in die Wunde führen können.

Abschließend läßt sich sagen, daß meine Untersuchungen die Überlegenheit des Laminar-Air-Flow gegenüber herkömmlichen Klimaanlagen im OP aufgezeigt haben, wenn es darum geht, ein möglichst niedriges Keimniveau zu erreichen und während der Betriebsstunden aufrechtzuerhalten.
Im konventionellen OP läßt sich ein deutlicher Anstieg der Keimzahl bei Operationen feststellen, im LAF-OP kommt es dagegen nur zu geringen Veränderungen.
Der Einbau einer Laminar-Air-Flow Anlage ist aber nur sinnvoll und zu empfehlen, wenn das darin eingesetzte OP-Team so diszipliniert arbeitet, daß die Bildung von Turbulenzen und damit auch das Auftreten von Keimzahlspitzen weitgehend vermieden wird.
Sind diese Voraussetzungen gegeben, kann mit Hilfe der Laminarströmung das postoperative Infektionsrisiko (besonders bei Knochenoperationen) deutlich reduziert werden, ein Ergebnis, welches die hohen finanziellen Aufwendungen, die mit dem Einbau einer solchen Anlage verbunden sind, rechtfertigt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.med. A. Rütt für die Überlassung des Themas und die Arbeitsmöglichkeit in der Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus der Universität Würzburg.

Den Herren Professoren Dr.med. H. Seeliger und Dr.phil. W. Döll danke ich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes im Hygieneinstitut der Universität Würzburg sowie für die Hilfestellung bei der Auswertung der Versuche.

Für den ständigen Rat und Einsatz beim Erstellen der Arbeit danke ich außerdem vielmals Herrn Priv.Doz. Dr.med. M. Spranger und Herrn Dr.med. W. Robens von der Orthopädischen Klinik.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

(1) BÖHLER, J.: Laminar-Flow, ein Weg zur vollkommenen Asepsis?
Therapiewoche 23/1973, S. 1946-48

(2) BOTZENHART, K.: Hygienische Bedeutung baulicher und apparativer Einrichtungen im Krankenhaus.
Hefte Unfallheilkunde 132/1978, S. 110-21

(3) BOTZENHART, K.; HOPPENKAMPS, G.: Vergleich der Wundkontamination in konventionell und turbulenzarm belüfteten Operationsräumen.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. B. 167/1978, S. 29-37

(4) BOTZENHART, K.; RÜDEN, H.: Zur Beurteilung von Klimaanlagen im Krankenhaus.
Öff. Gesundh.-Wesen 35/1973, S. 141-50

(5) BOTZENHART, K.; SATTEL, W.: Luftkeime und Infektionsverhütung in Operations- und Behandlungsräumen mit hohen Reinheitsansprüchen.
Krankenhaus 64, 2/72, S. 55-60

(6) CHARNLEY, J.: A sterile-air operating theatre enclosure.
British Journal of Surg., Vol. 51, No. 3/ 1964, S. 195-202

(7) DEDERICH, R.; HILD, A.; WOLF, L.: 2-jährige Erfahrungen mit 2078 orthopädischen Operationen in einem ultrasterilen Operationsraum.
Z. Orthop. 114/1976, S. 113-15

(8) DUVLIS, Z.: Luftkeimzahlen im Operationsraum.
Öff. Gesundh.-Wesen 41/1979, S. 13-16

(9) GALSON, E.; GODDARD, K.R.: Hospital air conditioning and sepsis control.
ASHRAE Journal No. 4, 10/1968, S. 33

(10) GREGORY, H. v.; KOCH, H.: Untersuchungen zum Luftkeimgehalt in chirurgischen Operationssälen.
Z. ärztl. Fortbildung, Jena 5/1970

(11) GUNDERMANN, K.O.: Die Keimbelastung in verschiedenen Krankenhausbereichen.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. B. 159/1974, S. 231-43

(12) HAHN, F.; NIERLICH, I.; FAENSEN, M.: Organisation, Arbeitsweise und erste Erfahrungen in einer modernen Laminar-Flow-Operationskammer.
Hefte Unfallheilkunde 132/1978

(13) HELL, K.; REBER, H.; PALFFY, S.; FROIDEVAUX, Ch., ALLGÖWER, M.: Strömungstechnische Analyse einer neuen Sterilboxe und vergleichende bakteriologische Untersuchungen von Sterilboxe und konventionell belüftetem Operationsraum während Scheinoperationen.
Langenbecks Arch. Chir. 341, Sep. 1976, S. 161-73

(14) JANSSEN, E. u. G.: Technisch-hygienische Untersuchungen in Operationssälen mit konventioneller Klimaanlage.
Z. Orthop. 113, Aug. 1975, S. 816-17

(15) KAMLAH, W.: Zur Problematik der optimalen Strömungsverhältnisse beim horizontalen Laminar-Air-Flow bei der täglichen Praxis im OP. Diss. Würzburg, Mai 1978

(16) KANZ, E.: Der Hygienestatus in seiner Bedeutung für die Verhütung chirurgischer Infektionen. Chirurg 45, Dez. 1974, S. 533-38

(17) KLUGE, K.; SCHUSCHKE, G.: Analyse der Luft- und Oberflächenkeimkontamination in einem orthopädischen Operationssaal als Stimulans der Verbesserung des Hygieneniveaus. Beitr. Orthop. und Traumatol. 25/1978, H. 5, S. 282-85

(18) KNAPP, U.; ULLMANN, U.: Ergebnisse bakteriologischer Untersuchungen von Operationswunden im konventionellen und im Laminar-Flow-Operationsraum. Hefte Unfallheilkunde, 132/1978, S. 144-46

(19) LITONSKI, B.: Klimaanlage als Entkeimungseinrichtung der OP-Raumluft. Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. B. 159/1974, S. 244-71

(20) LITONSKI, B.: Mikrobielle Kontamination der OP-Raumluft auf dem Luftwege. Chirurg 45, Dez. 1974, S. 538-45

(21) MEIERHANS, R.; THOMAS, G.: Luftkeimzahlmessungen in verschiedenen Operationsraumsystemen. Zeitschrift Hygiene und Medizin

(22) OSTERTAG, H.: Lufthygienische Untersuchungen an der Dräger-Keimfilteranlage für OP- und Spezialpflegebereiche mit unzulänglicher Klimaanlage.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. B. 159/1974, S. 209-30

(23) OSTERTAG, H.: Die hygienische Überwachung der klimatisierten, aseptischen Bereiche im Krankenhaus.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. B. 157/1973, S. 1-22

(24) PEIPER, H.-J.; SATTEL, W.; SCHUBERT, E.: Verminderung der Infektionsgefahr durch Anwendung einer turbulenzarmen Verdrängungsströmung im Operationssaal.
Chirurg 45, Dez. 1974, S. 545-49

(25) ROGGE, D.; OESTERN, H.J.; MALOTTKE, R.; DUVLIS, Z.: Erfahrungen mit der Laminar-Flow Technik in der Extremitätenchirurgie.
Hefte Unfallheilkunde 132/1978, S. 146-49

(26) RUSSENBERGER, H.J.; WANNER, H.U.: Keimgehalt der Raumluft in Abhängigkeit des Luftwechsels.
Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt., Orig. A. 227/1974, S. 564-67

(27) RUSSENBERGER, H.J.: Keimgehalt der Raumluft in Abhängigkeit der Belegung und des Luftwechsels.
Diss. ETH Zürich, Nr. 5230 (1974)

(28) SATTEL, W.: Vertikal- oder Querstrom-Laminar-Flow.
Therapiewoche 22/1973, S. 1950

(29) SATTEL, W.; PEIPER, H.J.: Turbulenzarme Verdrängungsströmung (Laminar-Air-Flow) im Operationssaal für Eingriffe mit höchsten Ansprüchen an die Sterilität.
Chirurg 43, Nov. 1972, S. 294-95

(30) SCHEIBE, O.: Laminar-Flow, nur in Großkliniken?
Chirurg 48, Nov. 1977, S. 745-46

(31) SCHNITZLER, W.: Zur Aufstellung der Operationsgruppe im Reinraum mit laminarer, horizontaler Luftströmung (Tunnel).
Arch. orthop. Unfallchir. 83/1975, S. 123-27

(32) SEYFFARTH, G.: Alte und neue Gesichtspunkte zum Hospitalismusproblem.
Z. ärztl. Fortbildung, 70. Jhrg., Heft 18

(33) STRAUSS, H.J.: Grundprinzipien moderner Belüftungstechnik im Operationssaal.
Therapiewoche 23/1973, S. 1938-45

(34) WANNER, H.U.: Untersuchungen über den Keimgehalt in der Luft von Operationssälen.
Schweiz. med. Wochenschr. 99/1969, S. 641-46

(35) WEBER, B.G.; STÜHMER, G.; MEIERHANS, R.: Sterile Operationsboxen.
Z. Orthop. 109, Nov. 1971, S. 803-13

(36) WEIDMANN, E.: Luftkeimzahlbestimmungen in Operationssälen.
Z. Orthop. 113/1975, S. 29-40

(37) WHITCOMB, J.G.; CLAPPER, W.E.: Ultraclean operating room.
American Journal of Surgery 122/1966, S. 681-85

(38) ZÄNGL, A.; MELCHIOR-BAUER, P.: Erfahrungsbericht über Österreichs ersten Operationssaal nach dem ALLO - PRO - Laminar-Flow-System.
Wiener med. Wochenschr. 15/1978, S. 489-91

(39) ZICHNER, L.: Erfahrungen mit einer ultrasterilen Operationseinheit.
Hefte Unfallheilkunde 132/1978, S. 136-43

L e b e n s l a u f

Ich, Paul Franz Wenk, wurde am 19. Juli 1952 in Nürnberg geboren als Sohn von Paul und Rosina Wenk, geb. Silberhorn.

In Nürnberg besuchte ich auch die Volksschule und das Gymnasium, welches ich im Jahre 1971 mit dem Abitur abschloß. Danach leistete ich einen Teil meines Grundwehrdienstes ab und begann dann im April 1972 das Studium der Medizin an der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg. Nach bestandenem Examen erhielt ich am 5. Juni 1979 in Würzburg die Approbation als Arzt.

Von Oktober 1979 bis März 1980 leistete ich meine restliche Grundwehrdienstzeit ab. Im April 1980 nahm ich meine erste ärztliche Tätigkeit als Assistenzarzt an der Medizinischen Universitätsklinik in Würzburg auf. Nach Ablauf meines Halbjahresvertrages bewarb ich mich bei der Hartwaldklinik in Bad Brückenau, wo ich nun bereits seit Oktober 1980 tätig bin.

Seit August 1978 bin ich mit Ingeborg Wera Wenk, geb. Häßler, verheiratet.

Paul Wenk

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80